

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

**Návrh technologie obrábění čepu kola  
s využitím CNC obráběcích strojů**

**Proposal of Cutting Technology of Shank with  
Usage of CNC Machine Tools**

Student: Tomáš Doseděl  
Vedoucí diplomové práce : Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

Ostrava 2009

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě.....

.....  
Plné jméno diplomanta

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

DOSEDĚL, T. *Návrh technologie obrábění čepu kola s využitím CNC obráběcích strojů*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB - TU, 2009, 61 s. Diplomová práce, vedoucí: Ing. Adamec, J. Ph.D.

Cílem diplomové práce je navrhnout technologii obrábění čepu kola s využitím CNC obráběcích strojů. První část práce se zabývá rozбором požadavků, které jsou na čep kola kladené. Zde je popsáno využití čepu kola, obráběný materiál a vhodný nástrojový materiál. V druhé části je popsán návrh technologie, který popisuje navržení strojů, nástrojů a technologického postupu. Další část práce se věnuje vypracování řídicích programů pro CNC stroje, kde jsou popsány jednotlivé kroky programů. V poslední části je navržená technologie technicko-ekonomicky zhodnocena.

## **ANNOTATION OF THESIS**

DOSEDĚL, T. *Proposal of Cutting Technology of Shank with Usage of CNC Machine Tools*. Ostrava: Department of Cutting and Assembly. Faculty of machine VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 61 p. Thesis, director: Ing. Adamec, J. Ph.D.

Goal of thesis is design technology for cutting the shank of wheel with using CNC machine. First parts of work consider analysis of demands, which are lay on wheel's shank. Here is describing usage of the shank, cutting material and proper tool material. In the second part is describing design of technology, which describes the design of machines, tools and technologic process. Another part of work attend to elaborate proposals of control programs for CNC machine, where are describe single steps of programs. In the last part is designed technology reviewed in technical-economic way.

## Obsah

Seznam použitého značení, zkratek a jednotek .....	7
1. Úvod .....	8
2. Rozbor požadavků kladených na čepy kol .....	9
2.1 Materiál čepu kola .....	11
2.2 Vhodný řezný materiál .....	13
2.2.1 Volba materiálu břitu řezného nástroje .....	13
2.2.2 Vlastnosti řezných materiálů .....	13
2.2.3 Slinuté karbidy .....	14
2.2.4 Řezná keramika .....	17
2.2.5 Rychlořezná ocel .....	18
3. Návrh technologie pro CNC obráběcí stroj .....	20
3.1 Návrh strojů .....	20
3.1.1 Požadavky na konstrukci NC stroje: .....	21
3.1.2 Vývojové stupně NC strojů .....	21
3.1.3 CNC soustruh PUMA 240 .....	22
3.1.4 Frézovací centrum HURCO VMX 42 .....	23
3.2 Technologický postup .....	24
3.2.1 Technologický postup obrábění čepu kola .....	24
3.3 Upínání odlitku čepu kola .....	25
3.3.1 Upínání na soustruhu .....	25
3.3.2 Upínání na frézce .....	26
3.4 Nástroje pro obrábění .....	28
3.4.1 Návrh vhodných nástrojů pro obrábění čepu kola .....	28
4. Zpracování řídicích programů .....	33
4.1 Řídicí systém pro stroj PUMA 240 – Fanuc 18i – T .....	33

4.2 Řídicí systém pro stroj HURCO VMX 42 – Ultimax .....	33
4.3 Číslicový řídicí systém .....	33
4.4 NC program .....	34
4.5 Metody programování .....	34
4.6 Pohyb nástroje – interpolace .....	36
4.7 Souřadný systém.....	37
4.8 Ruční programování.....	39
4.9 Struktura NC programu .....	41
4.10 Příklady jednotlivých skupin bloků pro soustružení.....	41
4.11 Popis funkcí využitých v NC programu pro soustruh .....	44
4.12 Program pro frézování.....	46
4.13 Adresy nástrojů .....	47
5. Technicko-ekonomické zhodnocení .....	48
5.1 Normy spotřeby času .....	48
5.2 Operativní kalkulace výroby .....	51
6. Závěr .....	54
7. Použitá literatura .....	56
8. Seznam uvedených obrázků .....	59
9. Seznam tabulek.....	60
10. Seznam příloh .....	60

## Seznam použitého značení, zkratek a jednotek

B	Indexace stolu v NC kódu
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numeric Control
D	Korekce
DNC	Distributed Numeric Control
DXF	Drawing Interchange File Format
F, f	Posuv
G	Přípravná funkce v NC kódu
HS	Hodinová sazba
ISO	International Organization for Standardization
M	Pomocná funkce v NC kódu
N	Číslo bloku v NC kódu
NC	Numeric control
O	Číslo NC programu
P, M, K	Označení druhu řezného materiálu dle ISO 513:2002
P, Q, R, F	Parametry závitového cyklu v NC programu
R	Rádus
S	Otáčky
T	Adresa nástroje v NC programu
U, v, w, h	Pohyb v osách x, y, z, c při inkrementálním programování
VBD	Vyměnitelná břitová destička
X, y, z, c	Pohyb v osách x, y, z, c při absolutním programování
Ø	Průměr

## 1. Úvod

V současné době jsou nezbytným strojním vybavením každého podniku číslíkově řízené stroje. Jejich využití nepřináší oproti klasickým strojům pouze zvýšení produktivity a efektivity, ale také opakovatelnou přesnost výroby a možnost obrábění tvarově složitých součástí, které by dříve na klasických strojích bylo nereálné nebo velice složité. K efektivitě a produktivitě číslíkově řízených strojů přispívají nemalou mírou také moderní nástroje, jejichž konstrukce dovoluje dosažení vyšších řezných rychlostí, vyšší životnosti nástroje a lepší kvality povrchu obrobené plochy. Technologický postup pro výrobu součástí na číslíkově řízených strojích musí být od počátku důkladně promyšlen, jelikož z něj vychází NC program, který by měl využívat co nejvíce možností stroje a jeho řídicího systému. Správně zvolená technologie je tedy základním předpokladem pro hospodárné využívání strojů.

Svou práci budu realizovat ve firmě Pavel Šálek – Agroservis. Tato firma sídlí v Prostějově a zabývá se výrobou malotraktorů včetně široké škály přídatného příslušenství.

Úkolem diplomové práce je navrhnout technologii pro obrábění čepu kola na CNC strojích. Bude třeba zvolit vhodné stroje, nástroje, technologický postup a zpracování NC programů. Navržená technologie obrábění čepu kola bude na závěr zhodnocena z technologického a ekonomického hlediska.



## 2. Rozbor požadavků kladených na čepy kol

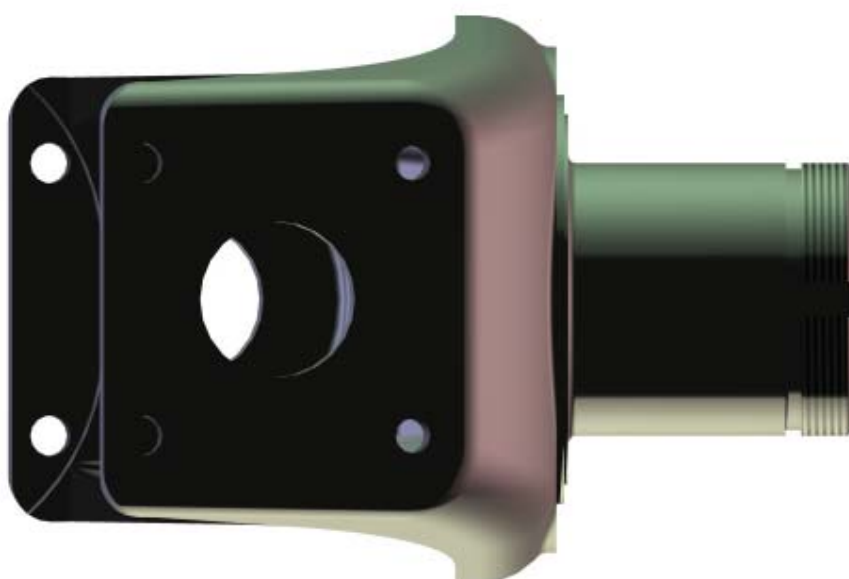
Čep kola slouží k zavěšení nápravy malotraktoru. V podstatě se jedná o rejdový čep (obr. 2.1 – obr. 2.3), jehož osa je od svislé osy vykloněna o  $6^\circ$ . Důvodem vyklonění osy čepu a tak i odklonu kol je odstranění vůlí v ložiskách otočného čepu. Odvalující se kola tvoří s vozovkou kužel a působí tak vzájemně proti sobě. Snižují tak tendenci kmitání a napomáhají k přímé jízdě.



Obr. 2.1 Pohled na vnější stranu čepu



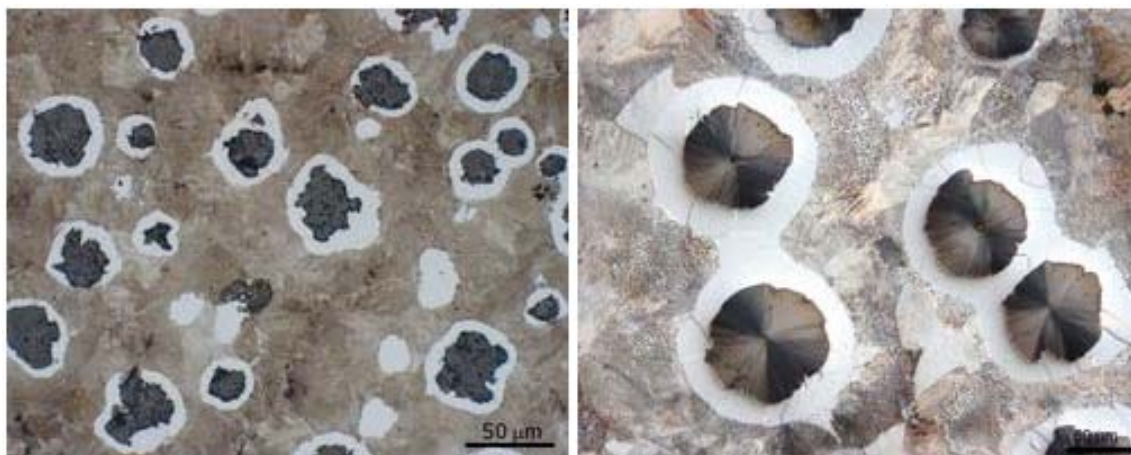
Obr. 2.2 Pohled na vnitřní stranu čepu



Obr. 2.3 Pohled na horní stranu čepu

## 2.1 Materiál čepu kola

Materiálem čepu kola je litina s kuličkovým grafitem 42 2305. Jedná se o litinu s matricí feriticko-perlitickou (obr. 2.4). Tato tvárná litina je velmi důležitým konstrukčním materiálem a v současnosti i nejpoužívanější litinou na odlitky. Využívá se pro výrobu klikových hřídelí, ojnic, těles čerpadel, součástí vozidel, převodových skříní, dynamicky namáhaných součástí atd. [1], [2]



Obr. 2.4 Litina s kuličkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou

### Chemické složení

Uhlík a křemík jsou jediné prvky významně podporující bezkarbidickou strukturu v litém stavu. Horní hranice jejich obsahu je vymezena rozpustností uhlíku v tekuté slitině a případně zvýšenou křehkostí a sníženou tepelnou vodivostí. Křemík zpevňuje ferit a zvyšuje tak jeho tvrdost, hlavně v žíhaném stavu. S uhlíkem a křemíkem se v litině s kuličkovým grafitem vyskytuje také mangan, který je velmi silný aktivátor karbidů. Jeho maximální obsah je řízen množstvím křemíku a tloušťkou stěny odlitku. Stabilizaci perlitu ve struktuře a tím zvýšení pevnosti a tvrdosti litiny zabezpečují přísady jako Sn, Mo, P, Cu, Ti, Mn, Ni a Cr. Účinek cínu oproti mědi je asi desetinásobný. Jeho nevýhodou však je, že podporuje vznik mezibuňkového lupínkového grafitu a proto se ho doporučuje jen 0,05 %. Přidávání mědi je bezpečné až do 2 %. [3]

## Mechanické vlastnosti

Vlastnosti odlitků z litin s kuličkovým grafitem jsou závislé na množství, velikosti a druhu grafitu a na složení základní matrice. V porovnání s litinami s lupínkovým grafitem má litina s kuličkovým grafitem větší pevnost, modul pružnosti, tvrdost, tažnost, nárazovou práci apod. Tyto litiny se legují proto, aby byly zlepšeny mechanické vlastnosti, zvýšila se odolnost vůči oxidaci a aby byla spolehlivě dosažena požadovaná struktura v litém stavu, popř. po tepelném zpracování. Aby bylo dosaženo maximálních pevností, je doporučeno legovat mědí od 1 do 1,5 % nebo cínem do 0,1 % a provést tepelné zpracování. Po tepelném zpracování, tzv. bainitickém zušlechťování, vznikne kovová matrice bainitická, která má tu nejvyšší pevnost při a zároveň si zachovává relativně dobrou houževnatost. Mechanické vlastnosti litiny 42 2305 viz tab. 2.1. [3]

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti litiny 42 2305 [3]

Pevnost ve střihu	450	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
Pevnost v krutu	450	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
Pevnost v tahu	500	MPa
Pevnost v tlaku	800	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
Mez únavy s vrubem	134	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
Mez únavy bez vrubu	224	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
Lomová houževnatost	25	$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$
Tvrdost	170 - 240	HB
Hustota	7,1	$\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$

## Technologické vlastnosti

Jelikož se ale tvárná litina nachází mezi ocelí a litinou, je její obrobitelnost horší než u šedé litiny. Pro kalkulaci obrobitelnosti tvárných litin se v praxi většinou používají stejné normativy jako pro ocel. Tvárná litina je však spolehlivě svařitelná stejně jako ocel. Lze ji svařovat elektrickým obloukem při použití speciálních elektrod Ni – Fe nebo elektrod z tvárné litiny. Plazmou lze svařovat pomocí elektrod z tvárné litiny. [2]

## **2.2 Vhodný řezný materiál**

Nástroje pro strojní obrábění kovových materiálů jsou nejpoužívanějšími nástroji v průmyslové výrobě. Jejich funkce a spolehlivost je závislá na konstrukci, způsobu výroby a optimálně zvoleným materiálem nástroje, případně i jeho tepelným zpracováním.

Řezné materiály vnikají svým břitem do obráběného materiálu a oddělují ho ve tvaru třísky. Požadovanými vlastnosti řezného materiálu jsou vysoká tvrdost, stálost za vysokých teplot, odolnost proti otěru a spolehlivá houževnatost. Tyto vlastnosti jsou spojeny s chemickým složením, čistotou výchozích surovin a technologií výroby. Optimální použití nástrojového materiálu je spojeno s obrobkem, jeho tvarem, chemickým složením a mechanickými vlastnostmi. [5]

### **2.2.1 Volba materiálu břitu řezného nástroje**

Základní vlastností řezného materiálu je jeho řezivost, která je chápána jako schopnost nástroje zachovat si pevnostní charakteristiky za vysokých teplot a odolávat opotřebení v místě, kde se břit nástroje stýká s obrobkem a odcházející třískou. Při volbě nástrojového materiálu je třeba zvolit vhodný kompromis mezi tvrdostí a houževnatostí. Vhodná volba nástrojového materiálu je ovlivňována řadou činitelů, kterými jsou konstrukce nástroje, namáhání břitu a nástroje jako celku, požadovaný výkon nebo trvanlivost nástroje, finanční dostupnost zvoleného materiálu a dostupnost zařízení pro tepelné či chemicko-tepelné zpracování. [6]

### **2.2.2 Vlastnosti řezných materiálů**

Za technicky významné vlastnosti se považují řezné vlastnosti břitu, konstrukční vlastnosti a pasivní technologické vlastnosti (tvařitelnost, obrobitelnost, nároky na tepelné zpracování).

Nejjednodušší situace je u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami, které se zpravidla nepřeostržují. Naopak je tomu u monolitních nástrojů, kde se musí posuzovat všechny uvedené skupiny vlastností.

Konstrukce břitu řezného nástroje vyžaduje hodnocení všech údajů o obráběném a řezném materiálu, kterých nejlépe dosáhneme zkouškami řezivosti.

Produktivita obrábění je závislá na schopnosti břitu odolávat plastickým deformacím za vysokých teplot. To se hodnotí jako stanovení tvrdosti materiálu při 20°C nebo zjištěním tvrdosti za tepla. Tvrdost je jako míra odporu proti vnikání identitu do určité míry ve sporu s pevností a řezivostí.

Adheze, difúze, abraze a oxidace jsou mechanismy opotřebení působící v oblasti styku břitu s obrobenou plochou a třískou. Jejich výskyt závisí na vzájemném působení nástroje a obrobku, řezných podmínkách a dalších faktorech.

Spolehlivost řezných materiálů závisí na strukturních, technologických nebo konstrukčních koncentrátoch napětí, schopnosti materiálu absorbovat lokální napětí, výchozím tvaru a jiných faktorech. [6]

Pro obrábění litiny 42 2305 navrhuji nástrojový materiál slinuté karbidy, řeznou keramiku a rychlořeznou ocel.

### **2.2.3 Slinuté karbidy**

Slinuté karbidy jsou heterogenní slitiny vyráběné práškovou metalurgií. Hlavními složkami těchto heterogenních slitin jsou karbidy vysokotavitelných kovů, např. W, Ti, Ta, Nb, Cr, Mo. Ty jsou smíchané s kovem o nižší tavicí teplotě, kterým je nejčastěji kobalt. Z práškové směsi se lisují tělíška, která se žíhají v blízkosti bodu tání pojícího kovu – kobaltu. Při slinování se výlisky smršťují, tvrdé částice karbidu wolframu jsou uloženy v houževnaté fázi pojícího kovu. Podle množství jednotlivých komponentů získáme řezné materiály s odlišnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Liší se tvrdostí za vysokých teplot, odolností proti opotřebení, sklonu ke směsnému slinování, odporu proti oxidaci a mechanickými vlastnostmi.

Karbid wolframu – nositel tvrdosti za vysokých teplot, chemické stálosti a odolnosti proti otěru.

Karbid titanu – rostoucí obsah způsobuje stálost za vysokých teplot a tvrdost výrazněji než karbid wolframu. Snižuje však odolnost proti otěru, zhoršuje křehkost a vykazuje nižší pevnost v ohybu. Zvětšuje součinitel tepelné roztažnosti, podstatně snižuje tepelnou vodivost.

Karbid tantalu – v porovnání s karbidem wolframu zvyšuje stálost za vysokých teplot. Méně nepříznivě než TiC ovlivňuje mechanické vlastnosti. Zlepšuje stálost vlastností při pulsující teplotě.

Kobalt – nositel pevnosti a houževnatosti slinutých karbidů. S růstem Co podstatně stoupá tažnost a pevnost slinutých karbidů. [5]

### **Použití slinutých karbidů pro obrábění**

Použitelnost slinutých karbidů se podle ISO dělí z hlediska řezného procesu do skupin P, M, K. P – slinuté karbidy určené pro obrábění materiálů, které vytvářejí dlouhou plastickou třísku. M – slinuté karbidy určené pro obrábění materiálů, které vytvářejí dlouhou i krátkou třísku. K – slinuté karbidy určené pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou třísku. [5]

### **Povlakované VBD ze slinutého karbidu**

Povlakování je proces chemických reakcí, při kterém působí směs plynů na povrch slinutého karbidu. Na povrchu se tak vytváří povlak charakteristický svými fyzikálními a pevnostními vlastnostmi. Slinuté karbidy se povlakuji za účelem vyšší pevnosti a odolnosti proti různým druhům opotřebení. Vytváření tvrdých povrchových vrstev je založeno na principu vakuového napařování, difuzního žíhání v zásypu, elektrolýzu roztavených solí a vylučování z plynné fáze. Stejný je i princip technologie přípravy TiC a TiN. Vrstvy se nanášejí při teplotě 700 - 1100°C a tlaku 13,3 kPa. Ideální vrstva je od 5ti do 15ti  $\mu\text{m}$ . Menší vrstva nemusí být dostatečně odolná proti otěru, silnější vrstva se může díky lomovému pnutí odlupovat. [5], [7]

## Použití destiček ze slinutého karbidu s tvrdými povlaky

Jedná se o povlaky TiC a TiN. Ty zaručují vysokou tvrdost při obrábění a na čele destičky zabraňují rychlé tvorbě výmolů. Destičky povlakované nitridem titanu se používají více na operace s rychlejším posuvem a nižší řeznou rychlostí. Povlakované destičky mají oproti destičkám nepovlakovaným až dvojnásobnou trvanlivost. Řezná rychlost je však téměř stejná jako u standardních slinutých karbidů. Rozdělení Slinutých karbidů s tvrdými povlaky viz tab. 2.2. [5]

Tab. 2.2 Rozdělení slinutých karbidů s tvrdými povlaky [7]

<b>P</b>	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)	uhlíkové (nelegované) ocele třídy 10, 11, 12 legované ocele tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové ocele uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované ocele (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné ocele (třídy 17..., lité 4229...)
<b>M</b>	austenitické a feriticko austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a oteruvzdorné	austenitické a feriticko austenitické ocele korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a oteruvzdorné
<b>K</b>	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)	sivá litina nelegovaná aj legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)
<b>N</b>	neželezné kovy, slitiny Al a Cu	neželezné kovy, zliatiny Al a Cu
<b>S</b>	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti	speciální žárupevné zliatiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
<b>H</b>	zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 ÷ 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 58	zušlechtnuté ocele s pevností nad 1500 MPa kalené ocele HRC 48 - 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 - 85



#### **2.2.4 Řezná keramika**

Keramické destičky se vyrábí podobně jako slinuté karbidy práškovou metalurgií. Základem vlastností technické keramiky jsou prostorové polární vazby, díky kterým mají keramické materiály vysokou tvrdost, ořezuvzdornost, chemickou netečnost, odolnost proti korozi, abrazi, stálost za vysokých teplot a rozměrovou stálost. Řezná keramika je určena k suchému obrábění. Procesní kapalina snižuje trvanlivost nástroje z důvodu nízké odolnosti proti termošokům. [5]

#### **Vlastnosti řezné keramiky**

Pevnost za tepla a odolnost proti ořezu je u řezné keramiky podstatně vyšší než u jiných řezných materiálů. Řezná keramika nevykazuje při vysokých řezných rychlostech a vysokých teplotách plastické deformace. To znamená, že i při teplotě 1100°C je poměrně stálá na rozdíl od slinutých karbidů, které jsou už při 900°C plastické a ztrácí tvrdost. Lze tak snadno dosáhnout vysokých výkonů při obrábění litiny a oceli. Vysoká odolnost proti ořezu je závislá na chemické čistotě, stálosti a nízkém součiniteli tření mezi destičkou a třískou.

Destičky jsou oxidicky stálé a nenáchylné k adhesnímu ořezu. Na čele se netvoří výmol. Keramické destičky jsou velice křehké materiály. Při překročení vnitřního pnutí na čele destičky působením tlaku třísky vzniká na povrchu ostří trhliny, poté pak dochází k lomu břitu. Tomu se předchází ustavením destiček tak, aby bylo zatížení čela tlakové a tím byl úběr třísky stabilní. Na řezných destičkách se vytváří ochranná fazetka, která pevnostně stabilizuje řezný klín a činí jej necitlivým proti tepelnému zatížení. [1]

#### **Rozdělení a použití řezné keramiky**

Oxidická keramika – značí se bílou barvou, vychází z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  matrice, do které se přimíchává oxid zirkonu. Ten v matici působí jako zesilovací prvek. Jedná se o anorganickou sloučeninu, která má polární, kovalentní a iontovou vazbu. Takto vázané krystaly jsou tvrdé a mají vysoký bod tání. Lze je používat stejně jako rychlořezné oceli či slinuté karbidy. Oxidická keramika se používá při

hrubování, dokončovací soustružení a zapichování slitin plynulým řezem při vysokých řezných rychlostech bez chlazení.

Směsná keramika – značí se černou barvou, kromě  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obsahuje ještě  $\text{TiC}$  a  $\text{TiN}$ . Tím získává ve srovnání s oxidickou keramikou vyšší tvrdost, otěruvzdornost a odolnost proti termošokům. Směsná keramika se používá na dokončovací operace litin a kalených ocelí za vysokých řezných rychlostí nepřerušovaným řezem.

Nitridová keramika – vyznačuje se nejvyšší lomovou houževnatostí mezi všemi keramikami. Má dobré vlastnosti pro hrubování ocelolitin při silně přerušovaném řezu a proměnlivém přídávku na obrábění.

Při obrábění řeznou keramikou je třeba věnovat více pozornosti na uspořádání pracovního postupu. Ten se musí přizpůsobit řezné keramice. Je tomu naopak než u slinutých karbidů, kde se nástroj přizpůsobí součástce a stroji. [5]

### **2.2.5 Rychlořezná ocel**

Rychlořezné oceli jsou samostatnou skupinou vysokolegovaných nástrojových ocelí. Obsahují přísadové prvky W, Mo, V, Cr, Co. V kaleném i popouštěném stavu mají vysokou tvrdost, velkou odolnost proti otěru, dobrou řezivost a vysokou odolnost proti popouštění. Zachovávají si vysokou tvrdost i při teplotách kolem 550°C až 650°C. Obsahem přísadových prvků a jejich poměrem lze dosáhnout specifických vlastností jednotlivých typů rychlořezných ocelí. Vlastnosti získané po tepelném zpracování si udržují i za zvýšených teplot při tepelném namáhání nástrojů. Rychlořezné oceli jsou vysoce odolné proti otěru za studena i za tepla. [5]

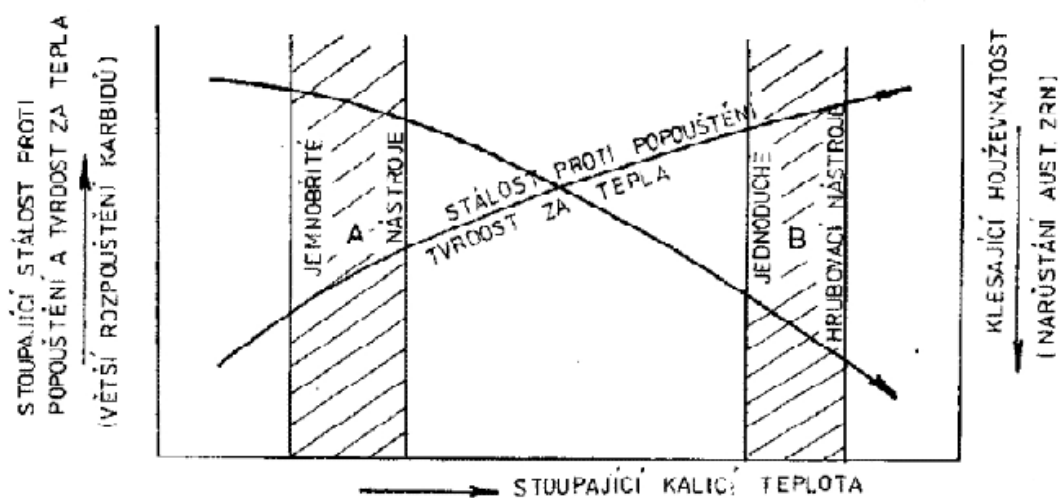
### **Tepelné zpracování RO**

Tepelné zpracování má vliv na vlastnosti a výkon rychlořezných ocelí. Při žhání dochází k překročení teploty 800°C až 850°C a tím i k přeměně feritu na austenit. Při dalším zvyšování teploty se rozpouštějí karbidy v základní austenitické hmotě. Při ochlazování zůstává austenit stabilní až do 200°C, teprve potom dochází ke vzniku nové strukturní složky. Tato složka se nazývá

martenzitu. Množství martenzitu se s klesající teplotou od 200°C zvětšuje. Při zchladnutí na 20°C zůstává ve struktuře kolem 20% zbytkového austenitu.

Rychlořezné oceli se musí před ohřevem na kalící teplotu předeřhřivat, protože mají nízkou tepelnou vodivost. Předeřhřívá se ve třech fázích. Nejdříve se dosahuje teploty 450°C, poté 600°C a nakonec pak 880°C. Teprve potom se nástroj přenesení do kalící lázně, kde jsou teploty 1250°C až 1330°C. Ochlazování se provádí v oleji, v solné lázni nebo na vzduchu. Teplota oleje a solné lázně bývá kolem 550°C. Tímto způsobem se chladí tvarově složité nástroje. Na vzduchu se chladí nástroje, na které nejsou kladeny požadavky na vysokou tvrdost. Rychlořezná ocel je po zakalení velmi tvrdá, ale i křehká s vnitřním pnutím.

K dodržení stability ve struktuře a k vhodnějším mechanickým a technologickým vlastnostem se rychlořezné oceli popouštějí. Dochází tak k řadě strukturálních a mechanických změn. Doba popouštění je závislá na velikosti nástroje. Pohybuje se kolem půl hodiny až dvou hodin. Při kalení z nízké teploty nedojde k potřebnému rozpuštění karbidů. Nemusí se tak dosáhnout sekundární tvrdosti. Stoupající kalící teplota zvyšuje podíl rozpuštěných karbidů. Zlepšuje se tak stálost proti popouštění a tvrdost za tepla (obr. 2.5). U nástrojů jednobřitých s komplikovanými tvary a u nástrojů pracujících na součásti s přerušovaným řezem se volí nižší kalící teploty na úkor nižší odolnosti proti popouštění. [1]



Obr. 2.5 Závislost stálosti proti popouštění a tvrdosti za tepla na stoupající kalící teplotě [1]

### **3. Návrh technologie pro CNC obráběcí stroj**

Technologie obrábění se při zpracování NC programu v principu neliší od technologie konvenční. Vychází se z obecných principů, jako jsou postupná volba technologických operací (hrubování, dokončování) nebo úkony v logickém sledu. Realizuje se tak požadovaný logický výsledek. NC technologie je na rozdíl od klasického pojetí zpravidla řešena na detailnější úrovni. Při zpracování NC technologie se proto musí respektovat např. způsob frézování (sousedné, nesousedné), dynamické nebo jiné charakteristiky NC stroje. Pro dosažení požadované přesnosti při dokončovacích operacích se musí respektovat také např. geometrické parametry nástroje. Technolog či programátor proto musí při zpracování technologie přistupovat k problému mnohem komplexněji.

Řešené technologie jsou podmíněny možnostmi jednotlivých pracovišť a lze je rozdělit na soustružení, frézování, vrtání, řezání drátem, prostřihování a komplexní operace (obráběcí centra). Každá technologie musí obsahovat hrubovací, polohrubovací a dokončovací operace. Řezné podmínky musí respektovat požadovaný technologický výsledek, možnosti NC stroje a nástroje. Lze konstatovat, že moderní stroje a nástroje spolu přinášejí několikanásobné zvýšení produktivity procesu obrábění. [4]

#### **3.1 Návrh strojů**

NC stroj v současnosti představuje zařízení, jež umožňuje zvýšení kvality a produktivity strojírenské výroby. Konstrukce NC stroje a jeho subsystémů se vyvíjí od čtyřicátých let minulého století. Během vývoje bylo v konstrukci NC stroje dosaženo značných změn. Změnila se nejen jeho koncepce, ale také parametry technologického procesu. Vysokých technických parametrů je dosaženo zvýšením řezných rychlostí a především pracovních a pojízďecích posuvů. Na koncepci a technické řešení NC stroje jsou kladeny specifické požadavky. Důvodem jsou požadované přesnosti tvarů a rozměrů obráběných součástí, drsnosti obráběných povrchů, bezpečnosti stroje, bezpečné a snadné obsluhy atd.

Cyklus číslicově řízených obráběcích strojů je řízen pomocí číslicových obvodů nebo zařízení. Jedná se o NC program, který je tvořen jako posloupnost programových bloků obsahujících alfanumerické informace v pořadí daném požadavky řídicího systému a požadavky programátora na technologickou činnost. [4]

### **3.1.1 Požadavky na konstrukci NC stroje:**

- Vysoká tuhost a přesnost.
- Vysoká přesnost a životnost aktivních částí (vodící plochy).
- Snadná zaměnitelnost.
- Přesná polohová vazba (servomechanismy a odměřovací zařízení).
- Teplotní stabilizace.
- Automatická výměna nástrojů.
- Vybavení pro předseřízení, výměnu a údržbu.
- Zajištění aktivní i pasivní bezpečnosti obsluhy. [4]

### **3.1.2 Vývojové stupně NC strojů**

1. stupeň – Nejjednodušší koncepce založená na konstrukci konvenčních strojů, ke kterým jsou přiřazeny číslicové řídicí systémy. Tyto stroje už nevyhovují požadavkům po stránce přesnosti, spolehlivosti a technických možností.
2. stupeň – Stroje jsou vybaveny servosystémy, které umožňují řízení v obecných cyklech. Jsou opatřeny revolverovými hlavami a zásobníky nástrojů.
3. stupeň – Koncepce strojů je zaměřena na použití ve výrobních soustavách s ohledem na řízení technologického i výrobního procesu počítači.
4. stupeň – Vývojové typy strojů, u kterých se zavádějí progresivní metody v konstrukci a využití strojů (např. laserové paprsky v měření, řízení atd.). [9]

Obrobení odlitku čepu kola bude provedeno na CNC soustruhu PUMA 240 s využitím C osy a na frézovacím centru HURCO VMX 42. Protože je čep kola nesymetrický a tvarově složitý, bude pro jeho upnutí nezbytné použít přípravek na upínání a to jak pro soustruh, tak i pro frézku.

### 3.1.3 CNC soustruh PUMA 240

Na obr. 3.1 je zobrazen stroj PUMA 240, jehož parametry jsou popsány v tab. 3.1.



Obr. 3.1 CNC soustruh PUMA 240 [23]

Tab. 3.1 Technické parametry stroje Puma 240 [23]

Maximální otáčky hlavního vřetene	4500·min <sup>-1</sup>
Maximální otáčky pomocného vřetene	6000·min <sup>-1</sup>
Výkon motoru hlavního vřetene	15 kW
Výkon motoru pomocného vřetene	5,5 kW
Krouticí moment hlavního vřetene	285 Nm
Rychlosti rychloposuvu v X / Z	24 / 30 m·min <sup>-1</sup>
Počet míst pro nástroje	12
Doba výměny nástroje	0,15 s
Maximální velikost obrobku $\varnothing$ / L	350 · 562 mm <sup>-1</sup>
Přesnost opakovaného najíždění	+/- 0,002 mm
Rozměry stroje Š x H x V	3200 x 1892 x 1920 mm
Hmotnost stroje	4800 kg
Řídicí systém	Fanuc 18i - T

### 3.1.4 Frézovací centrum HURCO VMX 42

Na obr. 3.2 je zobrazen stroj HURCO VMX 42, jehož parametry jsou popsány v tab. 3.2.



Obr. 3.2 Frézovací centrum HURCO VMX 42 [22]

Tab. 3.2 Technické parametry stroje HURCO VMX 42 [22]

Pojezd (X-Y-Z)	1060 - 610 - 610 mm
Upínací plocha stolu	1270 x 610 mm
Maximální zatížení stolu	1360 kg
Výkon 30 min ED	15 kW
Krouticí moment 30 min ED	238 Nm
Rychlosti rychloposuvu v X/Y/Z	30 / 30 / 20 m·min <sup>-1</sup>
Počet míst pro nástroje	24
Rozlišení	0,0005 mm
Přesnost polohování	+/- 0,005 mm
Přesnost opakovaného najíždění	+/- 0,002 mm
Rozměry stroje Š x H x V	2800 x 2178 x 2770 mm
Hmotnost stroje	6400 kg
Řídicí systém	ULTIMAX

### **3.2 Technologický postup**

Technologický postup výroby součástí, které jsou určeny pro obrábění na CNC strojích, musí být důkladně promyšlen již od prvních operací, jelikož z něj vychází NC program, jenž by měl využívat všech možností stroje a řídicího programu. Správně určená technologie je základním předpokladem k hospodárnému využívání strojů.

Technologický postup obsahuje přípravné, hlavní a dokončovací operace. Musí být stanovené základní technologické plochy pro upnutí obrobku a navrženy speciální řezné nástroje. Upnutí musí být pevné, aby zajistilo bezpečné držení obrobku i při maximální síle vyskytující se při obrábění. Deformace obrobku však musí být minimální. Upnutí nesmí bránit přístupu nástrojů k obráběným plochám, chlazení, měření atd.

Zhotovený program se na stroji ověřuje za přítomnosti programátora a obsluhy stroje. Po ověření a opravách zhotoví programátor konečné provedení řídicího programu. [9]

#### **3.2.1 Technologický postup obrábění čepu kola**

- Seřídít soustruh Puma 240 pro obrábění dle programu 0113
- Obrábět odlitek čepu kola dle programu 0113
- Kontrola rozměrů
- Seřídít soustruh Puma 240 pro obrábění dle programu 0114
- Obrábět odlitek čepu kola dle programu 0114
- Kontrola rozměrů
- Seřídít frézovací centrum Hurco VMX 42 pro obrábění dle programu 0115
- Obrábět odlitek čepu kola dle programu 0115
- Kontrola rozměrů

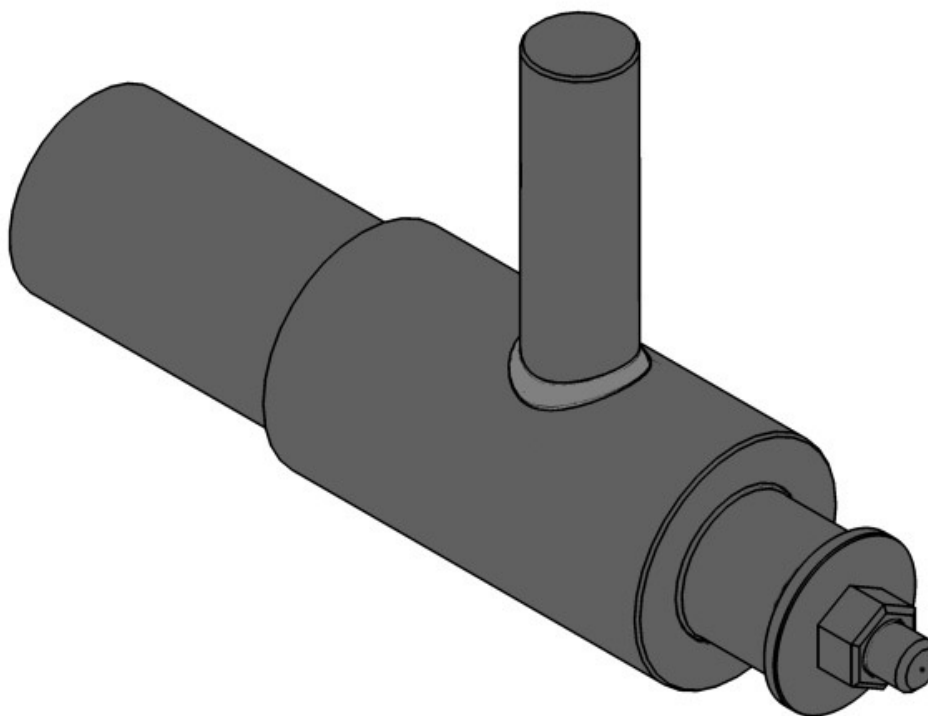


### 3.3 Upínání odlitku čepu kola

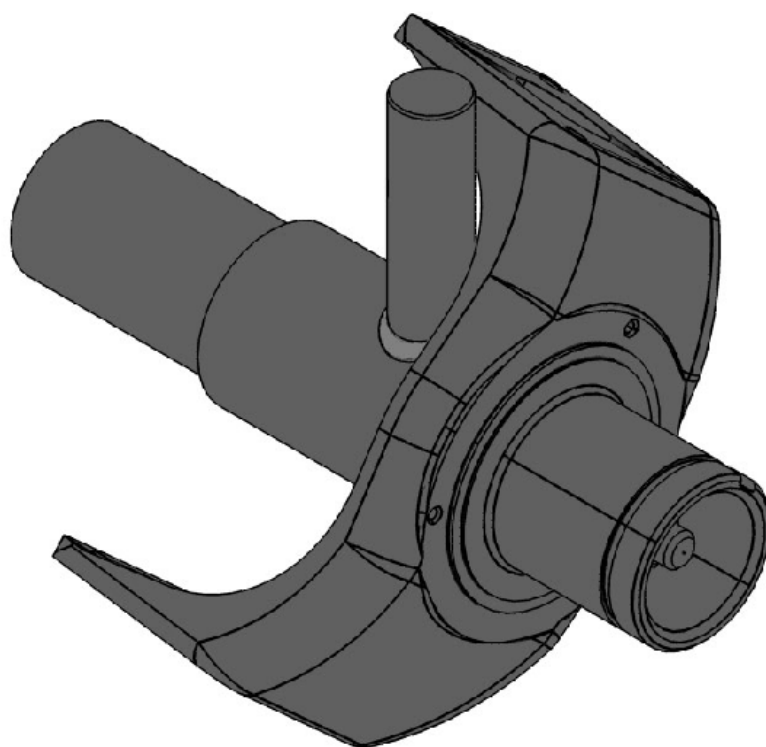
Čep kola je nesymetrická a tvarově složitější součást, proto jej nebude možné na obou obráběcích strojích upnout klasickým způsobem.

#### 3.3.1 Upínání na soustruhu

Při první operaci soustružení se čep kola upne do sklíčidla za válcovou neobrobenou plochu  $\varnothing 85$  mm. Při druhé operaci soustružení nebude kvůli složitému tvaru obrobku jiná možnost, než jej upnout na trn za vnitřní  $\varnothing 44H7$ . Čep kola bude k dorazu trnu, respektive přípravku, pevně přitáhnutý matkou. Přípravek se dále podepře hrotem v koníku, aby při obrábění nedošlo k jeho vychýlení. Na válcové ploše má navařený unášec, o který se obrobek svou vyosenou částí zapře a který tak zabráni pootočení obrobku při obrábění. Při seřizování stroje se přípravek s unášečem natočí do polohy, která se v řídicím systému stroje uloží, aby měly všechny obrobky na stejném místě drážku pro pero a závity na čelní ploše. Přípravek pro druhou operaci soustružení je znázorněn na obr. 3.3, upnutí obrobku pak na obr. 3.4.



Obr. 3.3 Přípravek pro upnutí čepu kola při soustružení



Obr. 3.4 Upnutí čepu kola na přípravku při soustružení

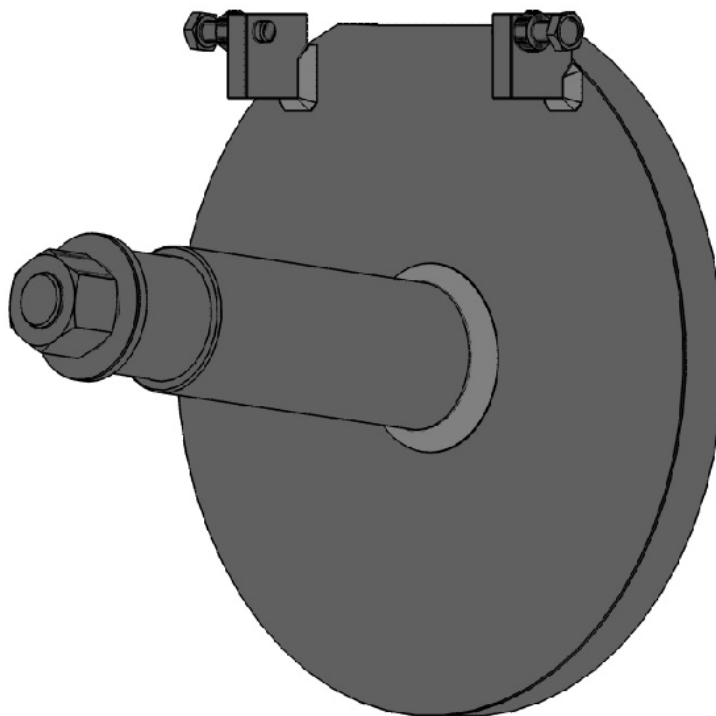
### 3.3.2 Upínání na frézce

Jelikož frézka neumožňuje vyklánění vřetene a tudíž i obrábění rovinných ploch šikmých k pracovnímu stolu, bude nutné upnout čep kola na trn, který je od vodorovné osy vychýlený o  $6^\circ$ . Vyklonění obrobku právě o tento úhel zajistí vodorovnou polohu rovinných ploch, které se budou na frézce obrábět.

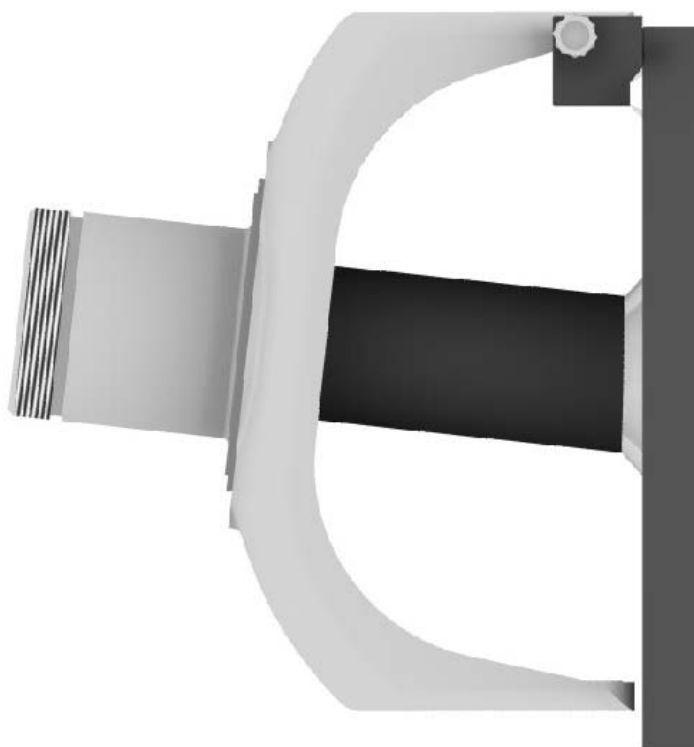
Trn se přivaří k lícní desce, která bude dále obsahovat stavitelné zarážky, jež zajistí nehybnou polohu obrobku při obrábění. Tento přípravek se upne do čelistí dělicího přístroje, který bude s obrobkem otáčet o  $180^\circ$  a zajišťovat mu tak potřebnou polohu pro obrábění.

Lícní deska bude mít na své obvodové části ofrézovanou plochu, díky které se při ustavování přípravku zajistí nejvyšší úvrať vykloněného trnu, který je právě k této ploše kolmý. Po upnutí přípravku do sklíčidla dělicího přístroje za lícní desku se na ofrézovanou plochu přiloží libela, se kterou pootáčením sklíčidla dělicího přístroje nalezneme vodorovnou polohu. Tato poloha bude v řídicím systému stroje následně uložena a vyvolávána při každém ustavování

obrobku před obráběním. Přípravek pro operaci frézování je znázorněn na obr. 3.5, upnutí obrobku pak na obr. 3.6.



Obr. 3.5 Přípravek pro upnutí čepu kola při soustružení



Obr. 3.6 Upnutí čepu kola na přípravku při frézování

### 3.4 Nástroje pro obrábění

Na obráběcí nástroje jsou kladeny různé požadavky, které musí být splněny, aby nástroj správně plnil svoji funkci.

#### Základní požadavky na řezný nástroj

Parametry řezného klínu jsou charakterizovány tvarem řezné části nástroje a její polohou vůči obrobku. Správně zvolené geometrické parametry břitu nástroje mají výrazný vliv na produktivitu práce a jakost obrobené plochy.

**Dostatečná pevnost břitu** – je podstatná u řezných materiálů s nižší pevností v ohybu a při obrábění materiálů s vysokou pevností při přerušovaném řezu.

**Vysoká trvanlivost břitu nástroje** – ovlivněna geometrickými parametry břitu při zachování všech potřebných vlastností nástroje.

**Vhodný poměr velikosti složek řezné síly** – je dosažen vysokou tuhostí soustavy stroj – nástroj – přípravek – obrobek.

**Stabilita procesu řezání** – platí pro nástroje, jejichž tuhost je v jednom nebo více směrech nedostatečná vzhledem k jejich konstrukci.

**Požadavky na integritu obrobené plochy** – třískové obrábění je složitý fyzikální proces ovlivňován faktory, které mají v různých podmínkách různý vliv. Stanovení geometrie břitu nástroje je proto velmi obtížné a komplikované. [6]

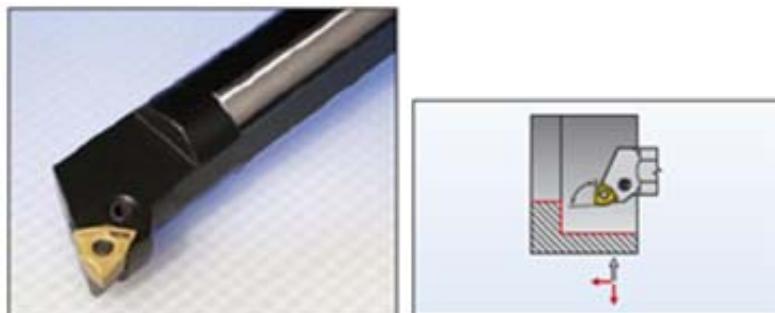
#### 3.4.1 Návrh vhodných nástrojů pro obrábění čepu kola

Nástroje jsou navrhovány dle možností podniku a jednotlivých strojů (obr. 3.7 - obr. 3.23). Jedná se o nástroje jak monolitické tak tvořené držákem, frézovací hlavou nebo tělem vrtáku a VBD s tvrdým povlakem. Nástrojový materiál je rychlořezná ocel a slinutý karbid. Monolitickými nástroji jsou navrtávačky, vrtáky, závitníky a stopková fréza. Nástroji složenými z držáku, frézovací hlavy, či těla vrtáku a VBD jsou soustružnické nože, tangenciální fréza, vrták a stopková fréza.

Pro soustružení vnitřních průměrů bude zapotřebí velkého vyložení nástrojů, aby břit dosáhl až ke konci díry. Držáky vnitřních nástrojů proto budou upnuty do prodlužovacích pouzder, která budou upnuta v revolverové hlavě. Tyto pouzdra budou zmenšovat vyložení nástrojů a tím tak snižovat i jejich

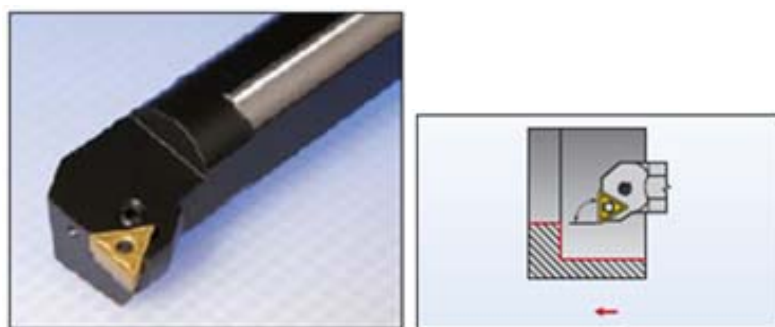
chvění. Velikost pouzder se musí volit úměrně k rozměrům obráběných děr, aby nedošlo ke kolizi.

### **Nůž vnitřní ubírací pro hrubování Ø 52mm a Ø 44 mm**



Obr. 3.7 Nůž vnitřní ubírací pro hrubování [10]

### **Nůž nitřní ubírací pro dokončování Ø 52 mm a Ø 44H7**



Obr. 3.8 Nůž nitřní ubírací pro dokončování [10]

### **Nůž nitřní ubírací pro soustružení Ø 54 mm**



Obr. 3.9 Nůž nitřní ubírací [10]

**Nůž levý ubírací pro hrubování Ø 70 mm, Ø 95 mm, Ø 105 mm a čela**



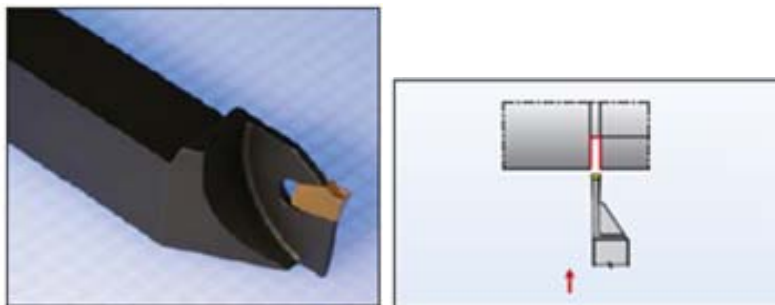
Obr. 3.10 Nůž levý ubírací pro hrubování [10]

**Nůž levý ubírací pro dokončování Ø 70h6, Ø95 mm, Ø 105 mm a čela**



Obr. 3.11 Nůž levý ubírací pro dokončování [10]

**Nůž zapichovací pro soustružení zápichu Ø 67 mm a šířky 4 mm**



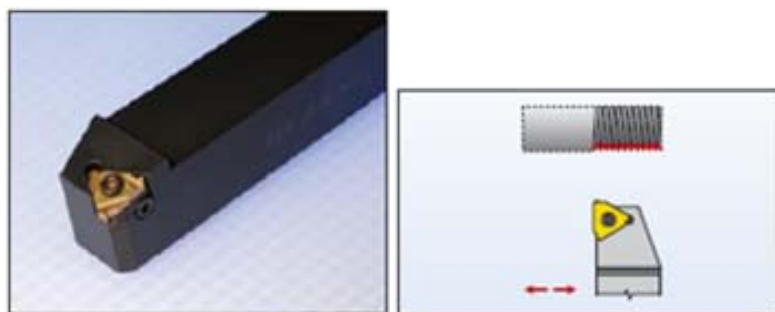
Obr. 3.12 Nůž zapichovací [10]

**Stopková fréza dvoubřítá Ø 9 mm pro frézování drážky pro pero**



Obr. 3.13 Stopková fréza Ø 9 mm [11]

### Nůž závitový pro řezání závitu M 70x2



Obr. 3.14 Nůž závitový [10]

### Navrtávák Ø 12 mm, vrcholový úhel 90° pro předvrtání děr závitů M5



Obr. 3.15 Navrtávák [12]

### Vrták Ø 4,3 mm pro vrtání děr závitů M5



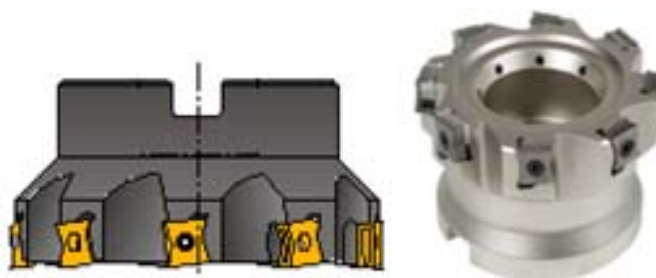
Obr. 3.16 Vrták Ø 4,3 mm [13]

### Závitník pro řezání závitů M5



Obr. 3.17 Závitník M5 [14]

### Tangenciální fréza pro frézování rovinných ploch



Obr. 3.18 Tangenciální fréza [15]

**Navrtávák Ø 12 mm, vrcholový úhel 120° pro předvrtání děr závitů M10**



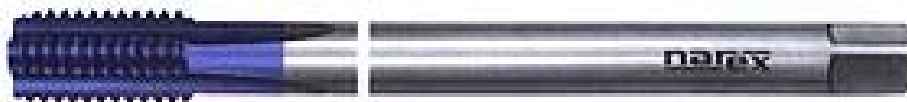
Obr. 3.19 Navrtávák [12]

**Vrták Ø 9 mm pro vrtání děr závitů M10**



Obr. 3.20 Vrták Ø 9 mm [16]

**Závitník pro řezání závitů M10**



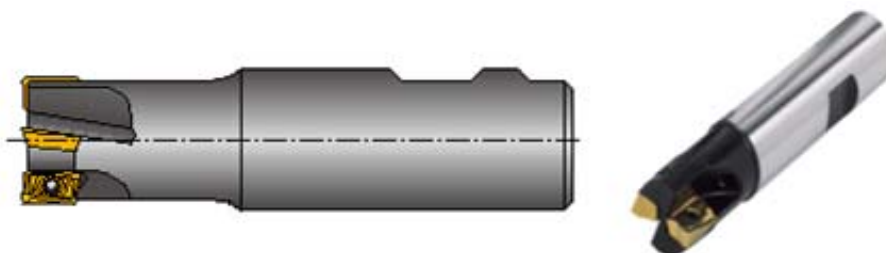
Obr. 3.21 Závitník M10 [17]

**Vrták Ø 39 mm pro vyhrubování děr Ø 40H8**



Obr. 3.22 Vrták Ø 39 mm [18]

**Fréza stopková čtyřbřitá Ø 25 mm pro vystružování děr Ø 40H8**



Obr. 3.23 Stopková fréza Ø 25 mm [19]



## **4. Zpracování řídicích programů**

Pro obrábění na CNC strojích je nutné vypracovat řídicí programy, které obsahují informace, dle kterých stroje součást obrobí.

### **4.1 Řídicí systém pro stroj PUMA 240 – Fanuc 18i – T**

Série řídicích systémů FANUC-18i je moderní výkonný řídicí systém. Řídicí systém nahrazuje většinu ovládacích prvků konvenčního stroje. Umožňuje řízení stroje s vysokou rychlostí a krátkou dobou cyklu (program logického řízení stroje) a tím vyrábět i geometricky náročné součásti ve zkrácených výrobních časech. Systém obsahuje integrované cykly umožňující snadné programování stroje. Grafický displej usnadňuje operátorovi vizuální ověření programů. [20]

### **4.2 Řídicí systém pro stroj HURCO VMX 42 – Ultimax**

Ultimax je se svou nepředstihnutelnou jednoduchostí programování ve výrobě otevřen mimo jiné i pro formát DXF.

Hotový výkres ve formátu DXF je pomocí Ultimaxu velice efektivně zpracován. Využíváme přitom vědomostí obsluhy v souvislosti s výrobní technologií, použitými nástroji, upínáním dílu atd. Formát DXF je do stroje převeden přes nosič dat nebo po síti. Na stroji se následně vybere kontura, provede se převzetí souřadnic z DXF formátu a případně se upraví nebo doplní potřebná data výkresu. Obsluha stroje doplňuje data výkresu pouze o technologické hodnoty (nástroj, otáčky, posuv). [21]

### **4.3 Číslicový řídicí systém**

Chápeme jej jako číslicové řízení prováděné na základě číslicové informace, která je do systému zadána formou NC programu na papírovém, magnetickém či jiném médiu. NC řídicí systémy prošly během použití širokým vývojem od systémů založených na reléových a elektronkových obvodech, přes polovodiče k současné technologii založené na integrovaných obvodech a mikroprocesorech. Současné CNC systémy jsou charakteristické modulární strukturou, velkou operační pamětí, použitím pevného disku pro ukládání

programů atd. Tyto systémy mají software na vysoké úrovni, který umožňuje programování pomocí cyklů, podprogramů, a dialogových režimů. Systém je tvořen jednotlivými subsystemy, kterými jsou vstupy, paměti, operační jednotka, řadič a výstupy. Vstupy zabezpečují vstup informací do řídicího systému. Dle způsobu předání vstupních informací se dělí na ruční zadání, čtecí zařízení, dekodéry signálu a jeho kontroly. Moderní CNC systémy mají digitální rozhraní, které předává data speciálními komunikačními moduly přímo z počítače nebo z DNC sítě. Paměti ukládají vstupní informace v číselné formě. Tyto informace definují postup činností NC stroje. Paměti se dělí na systémové, uživatelské a operační. Operační jednotka zajišťuje na základě požadavků řadiče provádění aritmetických, logických a rozhodovacích operací umožňujících vyhodnotit rozdíl mezi skutečnou a programovanou hodnotou. Řadič řídí činnost všech subsystemů počítače a koordinuje jejich součinnost podle instrukcí programu vybraných z paměti. Výstupy umožňují výstup informací na přizpůsobovací obvody a externí zatížení. [4]

#### **4.4 NC program**

NC program je tvořen řídicími bloky, které mají pevnou stavbu dle účelu použití. Struktura a obsah řídicích bloků NC programu závisí na konkrétním řídicím systému a NC stroji. NC program je tvořen posloupností řídicích bloků, které obsahují jednotlivé adresy a jejich numerické hodnoty. Kromě souřadnic, které vyjadřují polohu koncového bodu nástroje, mají důležitý význam i další adresy jako jsou G (dráhová podmínka), M (pomocná funkce), D (korekce), F (posuv), S (otáčky), T (poloha nástroje). [4]

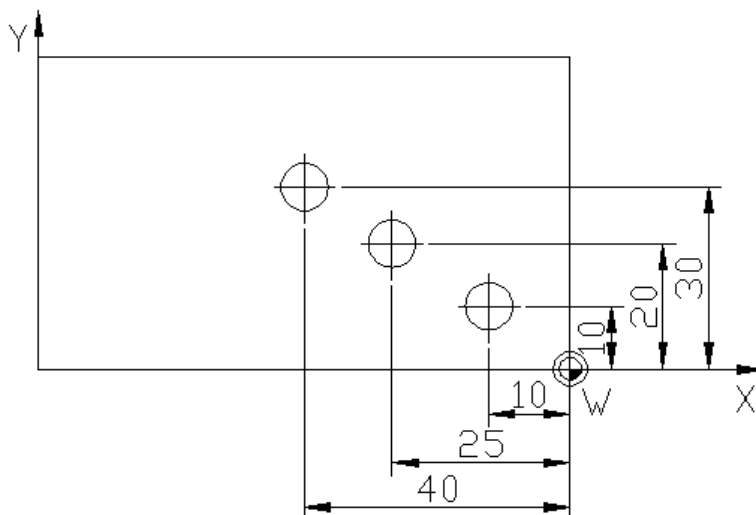
#### **4.5 Metody programování**

Výkresová dokumentace spolu s technologickou představují zadání pro zpracování NC programu. Kromě kótování od základny je na výkresech součástí možné kótovat řetězově. Metody absolutního, přírůstkového a polárního programování umožňují zpracování výkresové dokumentace bez potřeby transformovat mezi sebou jednotlivé kótovací systémy. Současné NC stroje

umožňují během programování vybrat vhodnou metodu nebo použít jejich kombinaci. [4]

### **Absolutní programování**

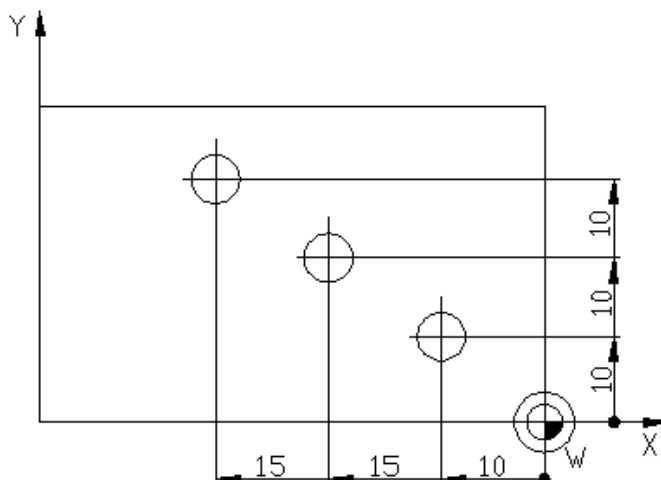
Absolutní programování je založeno na principu definice souřadnic v NC programu v absolutních souřadnicích každého bodu NC programu vůči počátku souřadného systému (obr. 4.1). Počátkem systému je nulový bod. [4]



Obr. 4.1 Absolutní programování

### **Přírůstkové programování**

Přírůstkové programování je založeno na definici souřadnic v programu v přírůstkové orientaci vůči předchozímu bodu programu (obr. 4.2). [4]



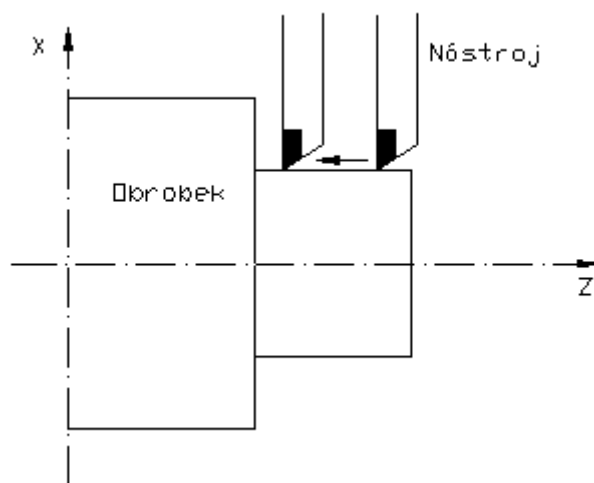
Obr. 4.2 Přírůstkové programování

## 4.6 Pohyb nástroje – interpolace

Termín interpolace se vztahuje k operaci, při které se nástroj pohybuje po přímce nebo po kružnici. [8]

### Lineární interpolace

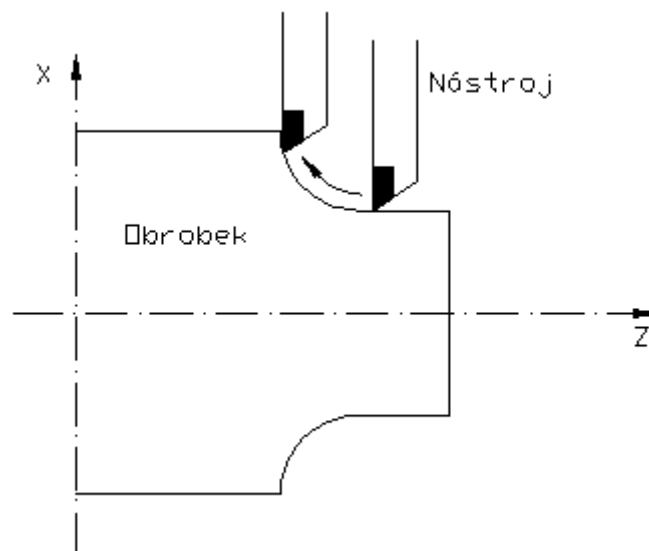
Funkce lineární interpolace technologicky reprezentuje změnu polohy nástroje z výchozího do koncového bodu pohybu nástroje po přímce (obr. 4.3). Pohyb může být realizován rychloposuvem (G00) nebo pracovním posuvem (G01). Lineární interpolace obsahuje informace, které jsou závislé na řídicím systému. [4]



Obr. 4.3 Lineární interpolace

### Kruhová interpolace

Funkce kruhová interpolace technologicky reprezentuje změnu polohy nástroje z výchozího do koncového bodu pohybu nástroje po kružnici (obr. 4.4). Kruhová interpolace obsahuje kromě informací, které jsou závislé na řídicím systému také parametry dle konkrétní implementace (poloměr oblouku nebo kružnice, parametry středu oblouku vůči výchozímu bodu oblouku atd.). Důležitou informací je směr pohybu nástroje z výchozího do koncového bodu. Směr pohybu po kružnici je určen funkcí G. Pohyb ve směru hodinových ručiček určuje funkce G02 a pohyb proti směru hodinových ručiček určuje funkce G03. [4]



Obr. 4.4 Kruhová interpolace

#### 4.7 Souřadný systém

Nástroj je možno přemístit do polohy tak, že se CNC systém naučí požadovanou polohu nástroje. Taková poloha nástroje je představována souřadnicemi v souřadném systému. Souřadnice jsou zadány použitím naprogramovaných os. [8]

##### Souřadný systém stroje

Bod, který je specifický pro stroj a slouží jako referenční bod stroje, se nazývá nulový bod stroje. Na každém stroji je nastavován svým výrobcem.

Souřadný systém, jehož nulový bod stroje je nastaven jako jeho počátek, se nazývá souřadným systémem stroje. Zavede se tak, že se po zapnutí napájení provede nájezd do referenční polohy. Jakmile je jednou souřadný systém stroje nastavený, zůstává nezměněný až do doby, kdy se jeho napájení vypne. [8]

##### Souřadný systém obrobku

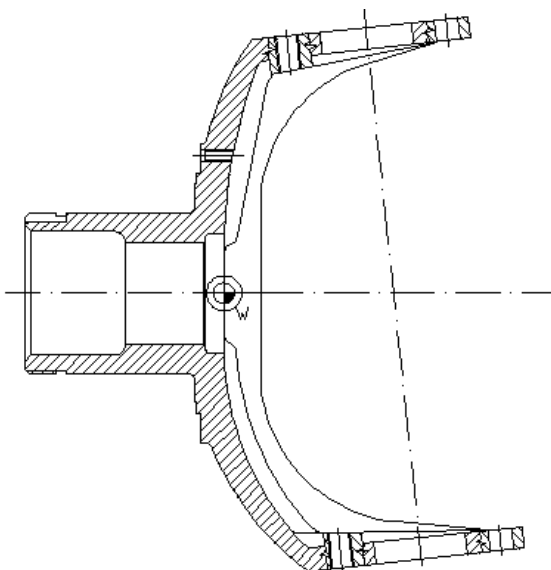
Souřadný systém, který se používá pro obrábění obrobku, se nazývá souřadný systém obrobku. U NC systému je nutno jej nastavit předem. Jeho nastavení provede program obrábění. Nastavený souřadný systém obrobku je možno změnit posunutím jeho počátku. [8]

### **Volba počátku souřadného systému (nulový bod)**

Nulový bod definuje počátek souřadného systému s ohledem na způsob kótování výkresu, způsob upnutí, tvar obrobku atd. Nulový bod je volen tak, aby byl dosažitelný a aby seřizovači umožnil co nejjednodušší seřízení stroje.

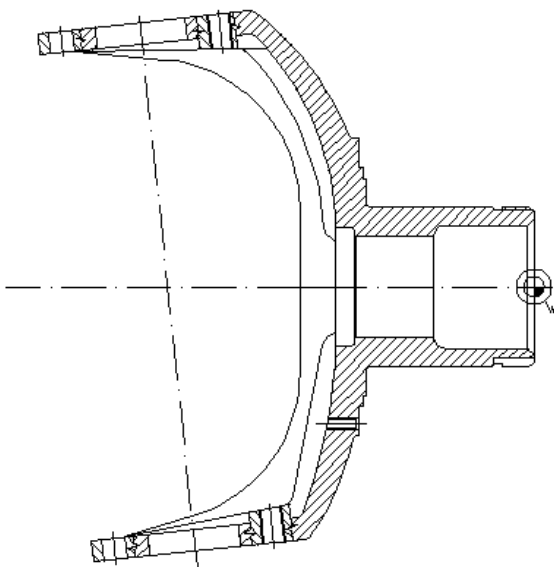
Zvolení nulových bodů čepu kola pro jednotlivé operace obrábění je znázorněno na obr. 4.5 – 4.7. [4]

### **Nulový bod čepu kola při soustružení první strany**



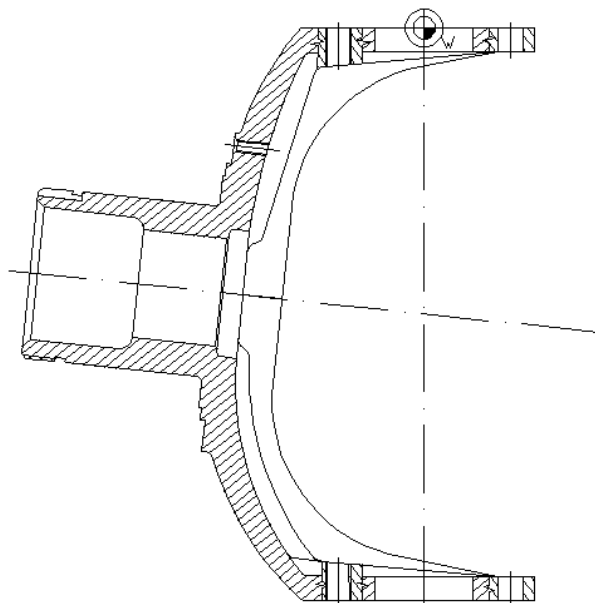
Obr. 4.5 Umístění nulového bodu čepu kola při soustružení první strany

### **Nulový bod čepu kola při soustružení druhé strany**



Obr. 4.6 Umístění nulového bodu čepu kola při soustružení druhé strany

## Nulový bod při frézování



Obr. 4.7 Umístění nulového bodu čepu kola při frézování

## 4.8 Ruční programování

Formát bloku je tvořen posloupností adres a číselných hodnot podle toho, v jakém kontextu je blok v NC programu umístěn (začátek programu, konec programu atd.). Struktura formátu jednotlivých adres v bloku, která musí být dodržena, je definována syntaxí. Tvar adres se u každého výrobce řídicích systémů liší především svým formátem. Tvar bloku je tvořen posloupností jednotlivých adres s požadovaným formátem čísel (tab. 4.2). U souřadnic je tvar adresy doplněn kladným nebo záporným znaménkem podle hodnoty programové souřadnice v souřadném systému obrobku.

Hlavní adresy a jejich funkce řídicího systému Fanuc 18i – T jsou popsány v tab. 4.1. [4]

Tab. 4.1 Hlavní adresy a funkce řídicího systému Fanuc 18i – T [8]

Funkce	Adresa	Význam
Číslo programu	O	Číslo programu
Číslo bloku	N	Číslo bloku
Funkce přípravná	G	Určuje režim pohybu
Rozměrové slovo	X, Y, Z, U, V, W, A, B, C, H	Pohyb v ose
	I, J, K	Souřadnice středu oblouku
	R	Poloměr oblouku
Funkce posuvu	F	Rychlost posuvu za minutu, otáčku
Funkce rychlosti vřetena	S	Rychlost vřetena
Funkce nástroje	T	Číslo nástroje
Funkce pomocná	M	Zapnutí/vypnutí řízení stroje
	B	Indexace stolu
Prodleva	P, X, U	Doba prodlevy
Označení čísla programu	P	Číslo programu
Počet opakování	P	Počet opakování podprogramu
Parametr	P, Q	Parametr pevného cyklu

Tab. 4.2 Tvar bloku NC programu

N	G	X, Z	F	S	T	M
Číslo bloku	Přípravná funkce	Souřadnice dráhy nástroje	Funkce rychlosti posuvu	Funkce rychlosti vřetene	Číslo aktuálního nástroje	Pomocná funkce

V bloku NC programu mají kromě souřadnic vyjadřujících polohu koncového bodu nástroje také důležitý význam adresy G a M. Přípravné funkce G jsou součástí řídicího systému, pomocné funkce M jsou součástí řízení stroje. Jejich významy jsou popsány v příručce k řídicímu systému a v návodu k obsluze NC stroje. [4]



## 4.9 Struktura NC programu

Struktura NC programu je tvořena jednotlivými skupinami řídicích bloků. Stavba řídicích bloků je pevná dle svého účelu použití (začátek programu, konec programu atd.). Struktura a obsah skupin řídicích bloků závisí na řídicím systému, na NC stroji a na kontextu použití dle požadavků programátora. [4]

## 4.10 Příklady jednotlivých skupin bloků pro soustružení

### **Začátek programu:**

N00 %

N10 O0114(CEP KOLA 50441 2STR)

N20 G53X#500Z#501G0

V bloku N10 je zadané číslo a název programu. Blok N20 udává najetí nožové hlavy do referenčního bodu stroje rychloposuvem.

### **Pohyb po přímce pracovním posuvem:**

N960 G1X94F0.25

N970 G1X95Z-74.25

N980 G1Z-74.75

Podle bloku N960 se nástroj pohybuje po čelní ploše na  $\varnothing$  94 mm pracovním posuvem na otáčku 0,25 mm. Blok N970 vede nástroj po kuželové ploše na  $\varnothing$  95 mm do vzdálenosti 74,25 mm od nulového bodu obrobku. V bloku N980 má nástroj příkaz pohybovat se v ose Z do vzdálenosti 74,75 mm od nulového bodu obrobku a obrábět tak válcovou plochu.

### **Pohyb po kružnici:**

N900 G3Z-48.5X54R5F0.1

Dle bloku N900 se nástroj pohybuje po kružnici proti směru hodinových ručiček na  $\varnothing$  54 mm a do vzdálenosti 74,75 mm od nulového bodu obrobku. Způsob interpolace je dán přípravnou funkcí G3, poloměr oblouku  $r = 5$  mm zadává parametr R a posuv  $f = 0,1$  mm/ot. je stanoven funkcí F.

**Výměna nástroje:**

N810 G53X#500Z#501G0

N820 T1010

N830 G96S120M4

N840 G54

Blok N810 popisuje odjezd nástroje do referenčního bodu rychloposuvem. Blok N820 obsahuje adresu požadovaného nástroje, který je otočením revolverové hlavy umístěn do pozice aktuálního nástroje. V bloku N830 je zadáno přípravnou funkcí G96 obrábění konstantní řeznou rychlostí, funkcí S jsou zadány otáčky vřetene a pomocnou funkcí M4 je roztočeno vřeteno proti směru hodinových ručiček. Blok 840 popisuje přípravnou funkcí G54 volbu souřadného systému obrobku.

**Řezání závitu:**

N1440 G76P010060Q100R0.02

N1450 G76X67.546Z-16.5P1227Q150F2

Cyklus řezání závitu zadáný přípravnou funkcí G76 musí být popsán ještě dalšími parametry. V tomto případě se jedná o parametry P, Q, R, F. V bloku 1440 popisuje parametr P010060 číslem 01 počet třísek při dokončování, číslem 00 velikost sražení a číslem 60 úhel špičky nástroje, což znamená i vrcholový úhel závitu. Parametr Q100 je zadán v tisícinách, vyjadřuje minimální hloubku třísky. R0.02 udává hloubku třísky při dokončování. Blok 1450 obsahuje koncové souřadnice závitu v osách X a Z, parametr P1227, který vyjadřuje výšku závitu v tisícinách zadanou na poloměr a parametr Q150, který udává hloubku první třísky v tisícinách. Parametrem F2 je zadáno stoupání závitu, které odpovídá posuvu na otáčku 2 mm.

**Cyklus čelního řezání závitu závitníkem:**

N1940 C105

N1950 M89

N1960 G54

N1970 G0Z-75X120

N1980 M8

N1990 G97S0M35

N2000 M29S150

N2010 G84F0.8Z-105

Cykly 1940 – 1980 popisují svými funkcemi C105 polohování vřetene pootočením o 105°, M89 silné upnutí vřetene, G54 souřadný systém obrobku, G00 nájezd rychloposuvem do polohy zadané souřadnicemi X a Z, M08 spuštění chladicí kapaliny. V bloku 1990 je funkcí G97 vypnuto obrábění konstantní řeznou rychlostí, S0 udává otáčky vřetene a M35 zastavuje poháněný nástroj. Funkce M29 v bloku N2000 zadává cyklus pevného závitování, S150 vyjadřuje otáčky závitníku. V bloku N2010 je funkcí G84 popsán cyklus čelního řezání závitu závitníkem. Funkce F0,8 udává stoupání závitu a Z-105 hloubku závitu.

#### **Konec programu:**

N2330 G0X150M9

N2340 G53X#500Z#501G0M5

N2350 M54

N2360 M25

N2370 M30

V bloku N2330 je nařízeno přípravnou funkcí G00 odjezd nástroje rychloposuvem v ose X a pomocnou funkcí M09 vypnutí chladicí kapaliny. Blok N2340 odvádí rychloposuvem nástroj do referenčního bodu stroje a pomocnou funkcí M5 zastavuje vřeteno. Pomocná funkce M54 započítá obrobek do evidence obrobených kusů, M25 zastaví dopravník třísek a M30 ukončí program a vrátí jej zpět na začátek.

Pozn.: Řídicí systém Fanuc 18i-T může být řízen třemi systémy G kódů A, B, C. V programu pro obrobení čepu kola je použit systém A. Tzn., že absolutní a přírůstkové programování není zadáváno G kódem (G90, G91), ale adresovým slovem. Znamená to tedy, že když jsou souřadnice zadávány v osách X, Z a C, bere systém automaticky v úvahu absolutní programování. V případě potřeby využít přírůstkového programování stačí pouze zaměnit názvy os X, Z a C za U,

W a H a systém vezme automaticky v potaz přírůstkové programování. Z tohoto důvodu se v programu neobjevuje příkazová funkce G, která by zadávala způsob programování. [8]

Celý program pro soustružení čepu kola je obsažen v přílohách č. 1 a 2.

#### **4.11 Popis funkcí využitých v NC programu pro soustruh**

##### **Přípravné funkce:**

- G00 – rychloposuv
- G01 – pracovní posuv
- G02 – kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
- G03 – kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
- G28 – nájezd do referenční polohy
- G50 – limit otáček vřetene
- G53 – nastavení souřadného systému stroje
- G54 – volba souřadného systému obrobku
- G76 – cyklus řezání závitu
- G84 – cyklus čelního řezání závitu závitníkem
- G96 – obrábění konstantní řeznou rychlostí
- G97 – zrušit obrábění konstantní řeznou rychlostí

##### **Pomocné funkce:**

- M00 – zastavení programu
- M03 – otáčení vřetene ve směru hodinových ručiček
- M04 - otáčení vřetene proti směru hodinových ručiček
- M05 – zastavení vřetene
- M08 – spuštění chladicí kapaliny
- M09 – vypnutí chladicí kapaliny
- M24 – spuštění dopravníku třísek
- M25 – zastavení dopravníku třísek
- M29 – cyklus pevného závitování

- M30 – konec programu a návrat na začátek
- M33 – otáčení poháněného nástroje ve směru hodinových ručiček
- M35 – zastavení otáčení poháněného nástroje
- M54 – počítání obrobků
- M88 – slabé upnutí vřetene
- M89 – silné upnutí vřetene
- M90 – uvolnění vřetene

#### **Rozměrové funkce:**

- B – funkce pro pojezd koníku
  - dráha koníku v absolutních souřadnicích
- C – funkce pro orientaci vřetene
  - pootočení vřetene v absolutních souřadnicích
- H - funkce pro orientaci vřetene
  - pootočení vřetene v přírůstkových souřadnicích
- R – poloměr oblouku při kruhové interpolaci
- X – dráha nástroje v ose kolmé na osu vřetene
- Z – dráha nástroje v ose rovnoběžné s osou vřetene

#### **Ostatní funkce:**

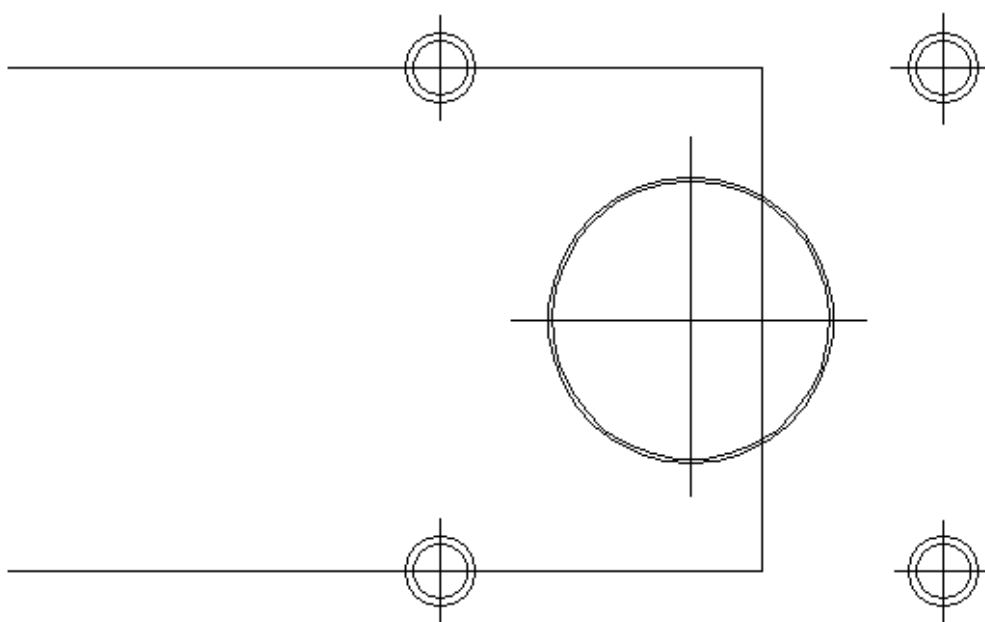
- F – funkce rychlosti posuvu
- S – funkce rychlosti otáček
- T – adresa nástroje
- N – číslo bloku
- O – číslo programu
- P, Q, R, F – závitové parametry

#### 4.12 Program pro frézování

Frézovací centrum Hurco VMX 42 je řízeno programem Ultimax, který nevyužívá G kódy, ale grafický náčrt doplněný o technologické hodnoty. Tento náčrt lze díky jednoduchému ovládání řídicího systému snadno a rychle vytvořit přímo na ovládacím panelu stroje. Sestavení náčrtu lze však obsluze stroje usnadnit tím, že se náčrt nakreslí v CAD systému, uloží se do formátu DXF a následně převede do stroje přes nosič dat nebo po síti. Obsluha stroje pouze vybere konturu, provede převzetí souřadnic z DXF formátu a doplní výkres o technologické hodnoty, kterými jsou například číslo nástroje, otáčky, posuv atd.

U čepu kola budou na frézce obrobena dvě proti sobě ležící rovinné plochy vykloněné od hlavní osy o  $6^\circ$ . Tyto plochy se orovňají na svých vnějších stranách tangenciální čelní válcovou frézou. Do těchto ploch se dále předvrtá a vyvrtá 8 děr pro závity M10, které budou vyřezány závitníkem. Následně se vrtákem z VBD vyvrtají 2 proti sobě ležící díry  $\varnothing 39$  mm. Tyto díry budou vystruženy stopkovou čtyřbřitou frézou  $\varnothing 25$  mm spirálovým posuvem na  $\varnothing 40H8$ .

Kontura, převedená do stroje z formátu DXF, k níž obsluha stroje přiřadí technologické hodnoty, je zobrazena na obr. 4.8. Technologické hodnoty přiřazené k jednotlivým nástrojům jsou uvedeny v příloze č. 3.



Obr. 4.8 Kontura frézované plochy

#### **4.13 Adresy nástrojů**

##### **00113(CEP KOLA 50441 1STR.):**

T0101 – doraz  
T0303 – nůž vnitřní ubírací pro hrubování  
T0505 – nůž vnitřní ubírací pro dokončování  
T0707 – nůž vnitřní ubírací

##### **00114(CEP KOLA 50441 2STR.):**

T0101 – nůž levý ubírací pro hrubování  
T0202 – nůž levý ubírací pro dokončování  
T0303 – nůž zapichovací  
T0404 – stopková fréza Ø 9 mm  
T0505 – nůž závitový  
T0606 – navrtávák  
T0707 – vrták Ø 4,3 mm  
T0808 – závitník M5  
T1010 – nůž vnitřní ubírací

##### **00115(CEP KOLA 50441):**

T01 – tangenciální čelní válcová fréza Ø 80 mm  
T02 – navrtávák  
T03 – vrták Ø 9 mm  
T04 – závitník M10  
T05 – vrták Ø 39 mm  
T06 – stopková fréza čtyřbřitá Ø 25 mm

## 5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Navržená technologie obrábění čepu kola byla zhodnocena z hlediska normy spotřeby času a operativní kalkulace výroby. Zhodnocení bylo provedeno pro samostatné stroje i pro celkovou výrobu.

### 5.1 Normy spotřeby času

#### Stanovení jednotkové normy času

Jelikož bude obrábění čepu kola provedeno na CNC strojích, budou všechny výpočty uvažovány pro vícestrojovou obsluhu.

##### Soustružení – 1. strana

$$t_{AC1} = t_{u1} + t_{sc1} \cdot k_{sč} \cdot k_{VSO}$$

$$t_{AC1} = 2 + 5,5 \cdot 1,15 \cdot 0,55$$

$$t_{AC1} = \underline{5,5 \text{ min}}$$

##### Soustružení – 2. strana

$$t_{AC2} = t_{u2} + t_{sc2} \cdot k_{sč} \cdot k_{VSO}$$

$$t_{AC2} = 3 + 10 \cdot 1,15 \cdot 0,55$$

$$t_{AC2} = \underline{9,3 \text{ min}}$$

##### Frézování

$$t_{AC3} = t_{u3} + t_{sc3} \cdot k_{sč} \cdot k_{VSO}$$

$$t_{AC3} = 5 + 13,5 \cdot 1,15 \cdot 0,55$$

$$t_{AC3} = \underline{13,5 \text{ min}}$$

##### Celková norma jednotkového času

$$t_{ACcelk.} = t_{AC1} + t_{AC2} + t_{AC3}$$

$$t_{ACcelk.} = 5,5 + 9,3 + 13,5$$

$$t_{ACcelk.} = \underline{28,3 \text{ min}}$$

$t_{AC1}$  ..... norma jednotkového času, soustružení 1. str.

$t_{AC2}$  ..... norma jednotkového času, soustružení 2. str.

$t_{AC3}$  ..... norma jednotkového času, frézování

$t_{ACcelk.}$  ..... celková norma jednotkového času

$t_{U1}$  ..... čas upínání [min], soustružení 1. str. - stanoveno na 2 min

$t_{U2}$  ..... čas upínání [min], soustružení 2. str. - stanoveno na 3 min

$t_{U3}$  ..... čas upínání [min], frézování - stanoveno na 5 min

$t_{SC1}$  ..... čas cyklu obrábění [min], z programu  $t_{SC1} = 5,5 \text{ min}$

$t_{SC2}$  ..... čas cyklu obrábění [min], z programu  $t_{SC2} = 10 \text{ min}$



$t_{SC3}$ ..... čas cyklu obrábění [min], z programu  $t_{SC3} = 13,5$  min  
 $k_{SČ}$  ..... koeficient směnového času [-], pro NC stroje je stanoven na hodnotu 1,15  
 $k_{VSO}$  ..... koeficient vícestrojové obsluhy, stanoven na hodnotu 0,55

### Stanovení normy času výroby jednoho kusu

#### Soustružení – 1. strana

$$t_{vk1} = \frac{t_{BC}}{DV} + t_{AC1}$$

$$t_{vk1} = \frac{120}{110} + 5,5$$

$$t_{vk1} = \underline{\underline{6,6 \text{ min}}}$$

#### Soustružení – 2. strana

$$t_{vk2} = \frac{t_{BC}}{DV} + t_{AC2}$$

$$t_{vk2} = \frac{120}{110} + 9,3$$

$$t_{vk2} = \underline{\underline{10,4 \text{ min}}}$$

#### Frézování

$$t_{vk3} = \frac{t_{BC}}{DV} + t_{AC3}$$

$$t_{vk3} = \frac{60}{110} + 13,5$$

$$t_{vk3} = \underline{\underline{14 \text{ min}}}$$

#### Celkový čas výroby jednoho kusu

$$t_{vkcelk} = t_{vk1} + t_{vk2} + t_{vk3}$$

$$t_{vkcelk} = 6,6 + 10,4 + 14$$

$$t_{vkcelk} = \underline{\underline{31 \text{ min}}}$$

DV ..... dávka výroby, v našem případě 110 Ks

$t_{BC1}$ ..... čas dávkový s podílem času směnového [min], soustružení 1. str.

$$t_{BC1} = 120$$

$t_{BC2}$  ..... čas dávkový s podílem času směnového [min], soustružení 2. str.

$$t_{BC2} = 120$$

$t_{BC3}$  ..... čas dávkový s podílem času směnového [min], frézování

$$t_{BC3} = 60$$

$t_{vk1}$  ..... čas výroby jednoho kusu při soustružení 1. str.

$t_{vk2}$  ..... čas výroby jednoho kusu při soustružení 2. str.

$t_{vk3}$  ..... čas výroby jednoho kusu při frézování

$t_{vkcelk}$  ..... celkový čas výroby jednoho kusu

## Stanovení norem času pro výrobní dávku

### Soustružení – 1. strana

$$t_{VD1} = \frac{t_{VK1}}{60} \cdot DV$$

$$t_{VD1} = \frac{6,6}{60} \cdot 110$$

$$t_{VD1} = \underline{\underline{12,1 \text{ hod}}}$$

### Soustružení – 2. strana

$$t_{VD2} = \frac{t_{VK2}}{60} \cdot DV$$

$$t_{VD2} = \frac{10,4}{60} \cdot 110$$

$$t_{VD2} = \underline{\underline{19,1 \text{ hod}}}$$

### Frézování

$$t_{VD3} = \frac{t_{VK3}}{60} \cdot DV$$

$$t_{VD3} = \frac{14}{60} \cdot 110$$

$$t_{VD3} = \underline{\underline{25,7 \text{ hod}}}$$

### Celkový čas výroby jedné dávky

$$t_{VD \text{ celk.}} = t_{VD1} + t_{VD2} + t_{VD3}$$

$$t_{VD \text{ celk.}} = 12,1 + 19,1 + 25,7$$

$$t_{VD \text{ celk.}} = \underline{\underline{56,9 \text{ hod}}}$$

$t_{VD1}$  ..... časová norma výrobní dávky pro soustružení 1. str.

$t_{VD2}$  ..... časová norma výrobní dávky pro soustružení 2. str.

$t_{VD3}$  ..... časová norma výrobní dávky pro frézování

$t_{VD \text{ celk.}}$  ..... celková časová norma výrobní dávky

DV ..... dávka výroby

## Stanovení normy roční výroby

### Soustružení – 1. strana

$$t_{RV1} = t_{VD1} \cdot PD$$

$$t_{RV1} = 12,1 \cdot 2$$

$$t_{RV1} = \underline{\underline{24,2 \text{ hod}}}$$

### Soustružení – 2. strana

$$t_{RV2} = t_{VD2} \cdot PD$$

$$t_{RV2} = 19,1 \cdot 2$$

$$t_{RV2} = \underline{\underline{38,2 \text{ hod}}}$$

### Frézování

$$t_{RV3} = t_{VD3} \cdot PD$$

$$t_{RV3} = 25,7 \cdot 2$$

$$t_{RV3} = \underline{\underline{51,4 \text{ hod}}}$$

### Celková norma roční výroby

$$t_{RV \text{ celk.}} = t_{RV1} + t_{RV2} + t_{RV3}$$

$$t_{RV \text{ celk.}} = 24,2 + 38,2 + 51,4$$

$$t_{RV \text{ celk.}} = \underline{\underline{113,8 \text{ hod}}}$$

PD .....	počet výrobních dávek za rok, v našem případě 2
$t_{RV1}$ .....	časová norma roční výroby pro soustružení 1. str.
$t_{RV2}$ .....	časová norma roční výroby pro soustružení 2. str.
$t_{RV3}$ .....	časová norma roční výroby pro frézování
$t_{RV\text{ celk.}}$ .....	časová norma celkové roční výroby

## 5.2 Operativní kalkulace výroby

Pomocí operativní kalkulace výroby se stanovují výrobní náklady na zakázku, výrobek, díl, položku, operaci, atd. Tyto náklady lze vyjádřit v hrubé výrobě zboží.

V hrubé výrobě zboží je obsaženo:

- náklady na jednicový materiál (polotovary)
- náklady na všeobecný materiál (materiál k montáži)
- výrobní náklady
- ostatní náklady

### Podnikové výrobní hodinové sazby (HS):

Včetně správní a odbytové režie jsou podnikem stanovené hodinové sazby strojů:

PUMA 240 .....  $HS_1 = 800 \text{ Kč/hod}$

HURCO VMX 42 .....  $HS_2 = 800 \text{ Kč/hod}$

### Náklady na výrobu jednoho kusu

#### Soustružení – 1. strana

$$N_{Ks1} = \frac{t_{VK1}}{60} \cdot HS_1$$

$$N_{Ks1} = \frac{6,6}{60} \cdot 800$$

$$N_{Ks1} = \underline{\underline{88 \text{ Kč}}}$$

#### Soustružení – 2. strana

$$N_{Ks2} = \frac{t_{VK2}}{60} \cdot HS_1$$

$$N_{Ks2} = \frac{10,4}{60} \cdot 800$$

$$N_{Ks2} = \underline{\underline{139 \text{ Kč}}}$$

### Frézování

$$N_{Ks3} = \frac{t_{VK3}}{60} \cdot HS_2$$

$$N_{Ks3} = \frac{14}{60} \cdot 800$$

$$N_{Ks3} = \underline{187 \text{ Kč}}$$

### Celkové náklady na jeden kus

$$N_{Ks\text{celk.}} = N_{ks1} + N_{ks2} + N_{ks3}$$

$$N_{Ks\text{celk.}} = 88 + 139 + 187$$

$$N_{Ks\text{celk.}} = \underline{414 \text{ Kč}}$$

$N_{Ks1}$ ..... náklady na výrobu jednoho kusu při soustružení 1. str.

$N_{Ks2}$ ..... náklady na výrobu jednoho kusu při soustružení 2. str.

$N_{Ks3}$ ..... náklady na výrobu jednoho kusu při frézování

$N_{Ks\text{celk.}}$ ..... celkové náklady na výrobu jednoho kusu

$HS_1$  ..... hodinová sazba stroje PUMA 240

$HS_2$  ..... hodinová sazba stroje HURCO VMX 42

### **Náklady na výrobní dávku**

#### Soustružení – 1. strana

$$N_{VD1} = N_{Ks1} \cdot DV$$

$$N_{VD1} = 88 \cdot 110$$

$$N_{VD1} = \underline{9680 \text{ Kč}}$$

#### Soustružení – 2. strana

$$N_{VD2} = N_{Ks2} \cdot DV$$

$$N_{VD2} = 139 \cdot 110$$

$$N_{VD2} = \underline{15290 \text{ Kč}}$$

### Frézování

$$N_{VD3} = N_{Ks3} \cdot DV$$

$$N_{VD3} = 187 \cdot 110$$

$$N_{VD3} = \underline{20570 \text{ Kč}}$$

### Celkové náklady na výrobní dávku

$$N_{VD\text{celk.}} = N_{VD1} + N_{VD2} + N_{VD3}$$

$$N_{VD\text{celk.}} = 9680 + 15290 + 20570$$

$$N_{VD\text{celk.}} = \underline{45540 \text{ Kč}}$$

$N_{VD1}$ ..... náklady na výrobu dávky pro 1. str. soustružení

$N_{VD2}$ ..... náklady na výrobu dávky pro 2. str. soustružení

$N_{VD3}$ ..... náklady na výrobu dávky pro frézování

$N_{VD\text{celk.}}$  ..... celkové náklady na výrobu dávky

DV ..... dávka výroby

## Náklady na roční výrobu

### Soustružení – 1. strana

$$N_{RV1} = N_{VD1} \cdot PD$$

$$N_{RV1} = 9680 \cdot 2$$

$$N_{RV1} = \underline{19360 \text{ Kč}}$$

### Soustružení – 2. strana

$$N_{RV2} = N_{VD2} \cdot PD$$

$$N_{RV2} = 15290 \cdot 2$$

$$N_{RV2} = \underline{30580 \text{ Kč}}$$

### Frézování

$$N_{RV3} = N_{VD1} \cdot PD$$

$$N_{RV3} = 20570 \cdot 2$$

$$N_{RV3} = \underline{41140 \text{ Kč}}$$

### Celkové náklady na roční výrobu

$$N_{RV\text{celk.}} = N_{RV1} + N_{RV2} + N_{RV3}$$

$$N_{RV\text{celk.}} = 19360 + 30580 + 41140$$

$$N_{RV\text{celk.}} = \underline{91080 \text{ Kč}}$$

$N_{RV1}$  ..... náklady na roční výrobu při soustružení 1. str.

$N_{RV2}$  ..... náklady na roční výrobu při soustružení 2. str.

$N_{RV3}$  ..... náklady na roční výrobu při frézování

$N_{RV3}$  ..... celkové náklady na roční výrobu

$PD$  ..... počet výrobních dávek za rok

Technicko-ekonomické zhodnocení technologie obrábění čepu kola bylo provedeno dle zvyklostí podniku.

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout technologii obrábění čepu kola pro CNC obráběcí stroje včetně vypracování NC programů. Diplomová práce byla realizována v podniku Pavel Šálek – Agroservis.

Nejprve bylo třeba vybrat vhodné stroje, které byly k dispozici a které by umožňovaly nejjednodušší, nejrychlejší a nejpresnější způsob obrábění. Nejvhodnější volbou byly stroje PUMA 240 a HURCO VMX 42.

Dalším a velmi důležitým krokem bylo navržení vhodného technologického postupu. Nabízelo se několik variant, které souvisely s upnutím odlitku. Od upnutí odlitku, zejména při frézování, se odvíjel i počet operací obrábění. Nejméně dvě operace frézování, kdy bylo třeba frézovat drážku pro pero a řezat závity na čele obrobku, byly ušetřeny díky využití C – osy soustruhu. Na jedno upnutí se tedy provedlo soustružení, frézování a vrtání. Další operaci frézování ušetřil univerzální CNC dělicí přístroj instalovaný na pracovním stole frézovacího centra. Pro operaci frézování se tedy mohl čep kola obrobit pouze na jedno upnutí. Celkově se tedy čep kola obrábí na tři operace, kdy jsou dvě operace soustružení a jedna operace frézování. Jelikož se jedná o tvarově složitější součást, kterou nelze při všech operacích obrábění klasicky upnout, byly zkonstruovány přípravky pro upínání. Upínání čepu kola je popsáno a znázorněno v kapitole 3.3.

Dále bylo třeba navrhnout vhodný řezný materiál a vhodné nástroje pro obrábění. Obráběným materiálem je tvárná litina 42 2305, pro jehož obrábění jsem navrhl řezný materiál slinuté karbidy typu K. Nástroje jsou tedy tvořeny držáky soustružnických nožů a frézovacími hlavami s povlakovanými VBD ze slinutých karbidů a monolitními nástroji ze slinutých karbidů a rychlořezné oceli.

Po zvolení technologického postupu a nástrojů následovalo vytvoření NC programů. Programy pro soustružení byly vypracovány ručně. Při tvorbě programu pro frézování byla do stroje převedena kontura ve formátu DXF, ke které byly následně přiřazeny nástroje a jejich technologické hodnoty. Pro každou operaci obrábění bylo důležité vhodně si zvolit nulový bod obrobku a způsob programování.

Při technicko-ekonomickém zhodnocení obrábění čepu kola byly vypočteny časy a náklady na jeden kus, výrobní dávku a roční výrobu jak pro jednotlivé stroje, tak pro celkovou výrobu.

## 7. Použitá literatura

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály*. 2. Vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2003. 146 s. ISBN 80–248–0270–8.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Nekonvenční strojírenské materiály I*. Dotisk 2. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2003. 133 s. ISBN 80–7078–969–7.
- [3] PODRÁBSKÝ, T. POSPÍŠILOVÁ S. *Struktura a vlastnosti grafických litin* [online]. Brno: VUT v Brně, 2006. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=11>>
- [4] JANDEČKA, Karel. *Programování NC strojů*. Plzeň: ZČU Plzeň, 2000. 159 s. ISBN 80-7082-692-4.
- [5] MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje I. díl. – Řezné nástroje*. 3. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001. 192 s. ISBN 80-7078–941–7.
- [6] BRYCHTA, Josef. *Obrábění I - Návod pro cvičení 1. část*. 2. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 84 s. ISBN 80-248–0576–6.
- [7] *Katalog soustružení – těžké hrubování*. Šumperk: PRAMET TOOLS, s.r.o., 2006. 74 s.
- [8] *Řídicí systémy CNC – Návod pro obsluhu*. Luxembourg: GE Fanuc automation S.A., Leden 2001. 881 s. B-63524CZ/01
- [9] SVOBODA, Evžen. *Technologie a programování CNC strojů - 1. vydání*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. 100 s. ISBN 80-7200-297-X



- [10] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Soustružení* [online]. Šumperk, 2009. 323 s.  
[cit. 2009-02-20]. Dostupné z:  
<<http://www.pramet.com/indexc1b6.html?menu=down1>>
- [11] ISCAR LTD., Metalworking Tools. *Milling - Designation: EC-A2 090-19C10-70* [online]. 2009. [cit. 2009-02-21]. Dostupné z:  
<[http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/57/mapp/ML/fnum/2020/GFS\\_TYP/M/tool/S/cat/5650900/lang/EN](http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/57/mapp/ML/fnum/2020/GFS_TYP/M/tool/S/cat/5650900/lang/EN)>
- [12] UNITOOL EUROPE, s.r.o. *NC navrtáváky* [online]. 2009.  
[cit. 2009-02-24]. Dostupné z:  
<<http://www.unitool.cz/katalog/tvrdokovy/pdf/navrt.pdf>>
- [13] FALTI. *HSS prodloužený vrták s válcovou stopkou, vybrušovaný* [online].  
[cit. 2009-02-24]. Dostupné z:  
<<http://www.falti.cz/images%5Cvrtak15.jpg>>
- [14] OLPRO s.r.o. *Metrický závit ISO 223070 M5/5000* [online]. 2009.  
[cit. 2009-02-24]. Dostupné z:  
<<http://project.optimus.cz/olpro/detail.php?id=22734>>
- [15] ISCAR LTD., Metalworking Tools. *Milling - Designation: F90LN D080-08-27-R-N11* [online]. 2009. [cit. 2009-02-21]. Dostupné z:  
<[http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/61/mapp/ML/fnum/1186/GFS\\_TYP/M/tool/T/cat/3102496/lang/EN](http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/61/mapp/ML/fnum/1186/GFS_TYP/M/tool/T/cat/3102496/lang/EN)>
- [16] ISCAR LTD., Metalworking Tools. *Hole Making - Designation: HSD AM6 PRVC* [online]. 2009. [cit. 2009-02-21]. Dostupné z:  
<[http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/77/mapp/DR/fnum/2016/GFS\\_TYP/M/tool/S/cat/3220440/lang/EN](http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/77/mapp/DR/fnum/2016/GFS_TYP/M/tool/S/cat/3220440/lang/EN)>

- [17] OLPRO s.r.o. *Jemný metrický závit ISO 223042 M10x1/3080* [online]. 2009. [cit. 2009-02-24]. Dostupné z: <<http://project.optimus.cz/olpro/detail.php?id=21019>>
- [18] ISCAR LTD., Metalworking Tools. *Hole Making - Designation: DR039-156-32-12-4D-N* [online]. 2009. [cit. 2009-02-21]. Dostupné z: <<http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/77/mapp/DR/fnum/2227/GFS TYP/M/tool/T/cat/3201471/lang/EN>>
- [19] ISCAR LTD., Metalworking Tools. *Milling - Designation: HM90 E90A-D25-4-W25-C* [online]. 2009. [cit. 2009-02-21]. Dostupné z: <<http://www.iscar.com/Ecat/item.asp/app/59/mapp/ML/fnum/1000/GFS TYP/M/tool/T/cat/3101689/lang/EN>>
- [20] FERMAT. *Řídicí systémy* [online]. 2008. [cit. 2009-03-14]. Dostupné z: <<http://www.fermatmachinery.com/cs/9-objevy-centra/1039-ridici-systemy.html>>
- [21] HRON, Jiří. *Ultimax 4 – Otevřený pro všechno* [online]. 2006. [cit. 2009-03-20]. Dostupné z: <<http://www.objevy-stroje-hurco.cz/ultimax-4-otevreny-pro-vsechno>>
- [22] HRON, Jiří. *Obráběcí stroj HURCO VMX 42 t* [online]. 2006. [cit. 2009-03-20]. Dostupné z: <<http://www.objevy-stroje-hurco.cz/objevy-stroje-vmx42t>>
- [23] *PUMA 240, High Performance Turning Center*. Daewoo Heavy Industries & Machinery LTD.

## **8. Seznam uvedených obrázků**

Obr. 2.1 Pohled na vnější stranu čepu

Obr. 2.2 Pohled na vnitřní stranu čepu

Obr. 2.3 Pohled na horní stranu čepu

Obr. 2.4 Litina s kuličkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou

Obr. 2.5 Závislost stálosti proti popouštění a tvrdosti za tepla na stoupající kalící teplotě

Obr. 3.1 CNC soustruh PUMA 240

Obr. 3.2 Frézovací centrum HURCO VMX 42

Obr. 3.3 Přípravek pro upnutí čepu kola při soustružení

Obr. 3.4 Upnutí čepu kola na přípravku při soustružení

Obr. 3.5 Přípravek pro upnutí čepu kola při soustružení

Obr. 3.6 Upnutí čepu kola na přípravku při frézování

Obr. 3.7 Nůž vnitřní ubírací pro hrubování

Obr. 3.8 Nůž nitřní ubírací pro dokončování

Obr. 3.9 Nůž nitřní ubírací

Obr. 3.10 Nůž levý ubírací pro hrubování

Obr. 3.11 Nůž levý ubírací pro dokončování

Obr. 3.12 Nůž zapichovací

Obr. 3.13 Stopková fréza

Obr. 3.14 Nůž závitový

Obr. 3.15 Navrtávák

Obr. 3.16 Vrták Ø 4,3 mm

Obr. 3.17 Závitník M5

Obr. 3.18 Tangenciální fréza

Obr. 3.19 Navrtávák

Obr. 3.20 Vrták Ø 9 mm

Obr. 3.21 Závitník M10

Obr. 3.22 Vrták Ø 39 mm

Obr. 3.23 Stopková fréza Ø 25 mm

Obr. 4.1 Absolutní programování

Obr. 4.2 Přírůstkové programování

Obr. 4.3 Lineární interpolace

Obr. 4.4 Kruhová interpolace

Obr. 4.5 Umístění nulového bodu čepu kola při soustružení první strany

Obr. 4.6 Umístění nulového bodu čepu kola při soustružení druhé strany

Obr. 4.7 Umístění nulového bodu čepu kola při frézování

Obr. 4.8 Kontura frézované plochy

## **9. Seznam tabulek**

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti litiny 42 2305

Tab. 2.2 Rozdělení slinutých karbidů s tvrdými povlaky

Tab. 3.1 Technické parametry stroje PUMA 240

Tab. 3.2 Technické parametry stroje HURCO VMX 42

Tab. 4.1 Hlavní adresy a funkce řídicího systému Fanuc 18i – T

Tab. 4.2 Tvar bloku NC programu

## **10. Seznam příloh**

Příloha č. 1 NC program pro soustružení 1. strany čepu kola

Příloha č. 2 NC program pro soustružení 2. strany čepu kola

Příloha č. 3 Technologické hodnoty pro frézování čepu kola

Příloha č. 4 Výkresová dokumentace

## **Poděkování**

Chtěl bych vyjádřit poděkování firmě Pavel Šálek – Agroservis, zejména pak panu Pavlu Šálkovi, Ing. Aloisi Rozehnalovi a Jaroslavu Horákovi za odborné rady a technickou pomoc při realizování praktické části diplomové práce.

Zvláště pak bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jaromíru Adamcovi Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při její tvorbě.